
新军迷
系列丛书
我们只解答不一般的问题
讲述军事科技的真相
别告诉我
你懂军事
《深度军事》编委会◎编著
清華大學出版社

新军迷系列丛书

别告诉我你懂军事
（战机篇）

《深度军事》编委会 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书采用问答的形式对战机的相关知识进行讲解，书中精心收录了读者广为关注的百余个热门问题，涵盖战机构造、机载武器、动力装置、电子设备、作战战术、后勤保障等多个方面，对每个问题都进行了专业、准确和细致的解答。为了帮助读者理解复杂的军事知识，并增强图书的趣味性和观赏性，书中还配有丰富而精美的示意图和鉴赏图以及生动有趣的小知识。

本书内容结构严谨，分析讲解透彻，图片精美丰富，适合广大军事爱好者阅读和收藏，也可以作为青少年的科普读物。

图书在版编目 (CIP) 数据

别告诉我你懂军事 . 战机篇 /《深度军事》编委会编著 . —北京：清华大学出版社，2018
（新军迷系列丛书）
ISBN 978-7-302-51567-8

Ⅰ . ①别…　Ⅱ . ①深…　Ⅲ . ①军用飞机—图解　Ⅳ . ① E92-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 257178 号

责任编辑：李玉萍
封面设计：李　坤
责任校对：张彦彬
责任印制：

出版发行：清华大学出版社
网　　址：http://www.tup.com.cn，　http://www.wqbook.com
地　　址：北京清华大学学研大厦 A 座　　**邮　　编：**100084
社 总 机：010-62770175　　**邮　　购：**010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 装 者：北京亿浓世纪彩色印刷有限公司
经　　销：全国新华书店
开　　本：146mm×210mm　　**印　　张：**9.75　　**字　　数：**218 千字
版　　次：2019 年 1 月第 1 版　　**印　　次：**2019 年 1 月第 1 次印刷
定　　价：49.80 元

产品编号：079147-01



1903年12月17日，美国莱特兄弟首次试飞了完全受控、依靠自身动力、机身比空气重、持续滞空不落地的飞机，也就是世界上第一架飞机“飞行者一号”。这架飞机就像一把神奇的钥匙，打开了新时代的大门，人类的交通、经济、生产和日常生活迎来了巨大的改变。

时至今日，飞机已经成为现代文明不可缺少的运载工具。错综复杂的空中航线把世界各国连接起来，为人们提供了既方便又迅速的客运条件。对于现代人来说，早晨还在北京，下午已毫无倦意地出现在千里之外的另一座城市，这已经是非常简单的事了。然而，习惯并不意味着了解，飞机是高技术含量的产物，飞机的设计和制造都有着常人难以想象的困难，尤其是飞机中的佼佼者——战机。

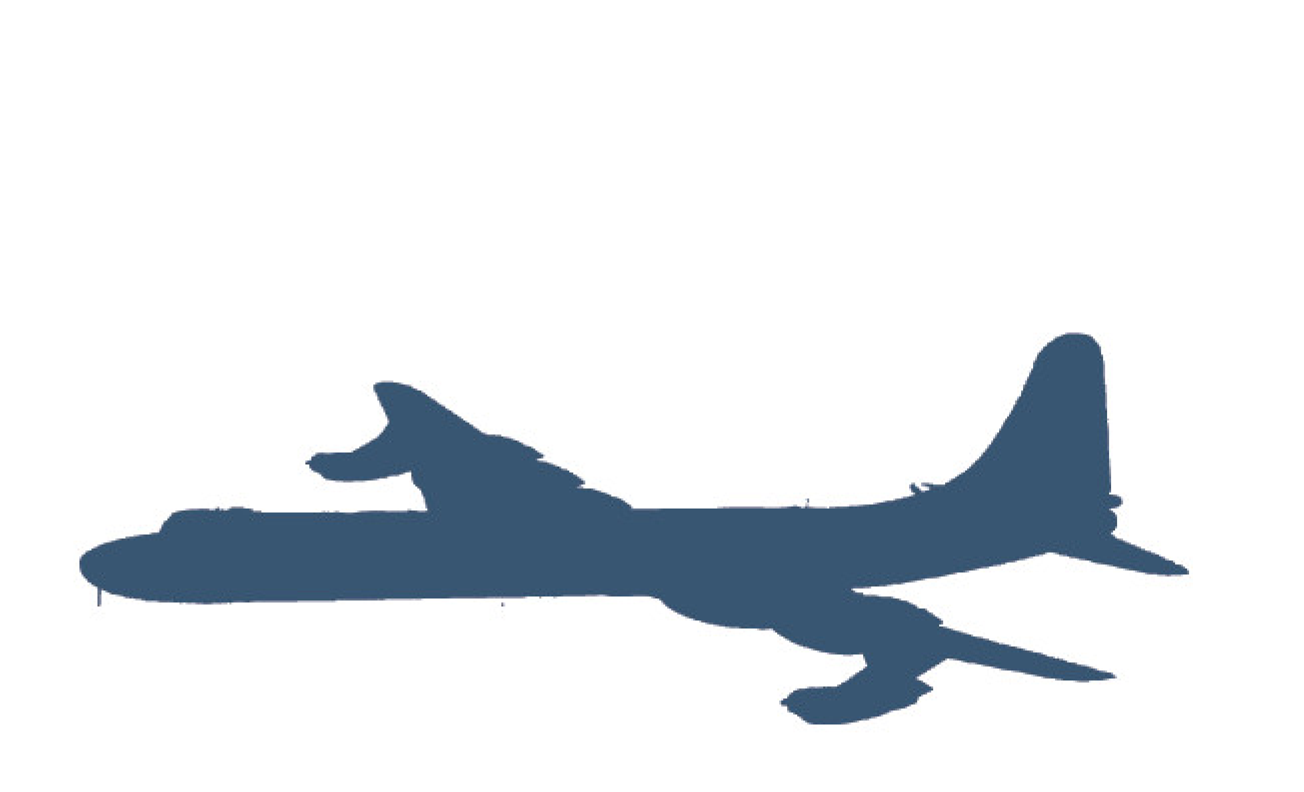
战机是军用作战飞机的统称，它们是空军的主要作战装备，也是一个国家航空工业实力的重要体现。各类战机使战争由平面发展到立体空间，对战略战术和军队组成等产生了重大影响。对于普通人来说，战机是强大而神秘的军事装备，很少有机会能一睹真容，但这并不能阻止许多人对战机产生浓厚的兴趣。复合材料主要用在军用飞机的哪些部位？战斗机的轮胎与汽车轮胎有何区别？水上飞机淡出军事舞台的原因是什么？军用飞机是否会像民航飞机一样安装“黑匣子”？世界各国空军如何处理退役飞机？许多人都曾有过这样一些疑惑，却无从获得解答。

针对这种情况，本书特意采用问答的形式对战机的相关知识进行讲解，书中精心收录了读者广为关注的百余个热门问题，涵盖战机构造、机载武器、动力装置、电子设备、作战战术、后勤保障等多个方面，每

个问题都进行了专业、准确和细致的解答。为了帮助读者理解复杂的军事知识，并增强图书的趣味性和观赏性，书中还配有丰富而精美的示意图和鉴赏图，以及生动有趣的小知识。

本书是真正面向军事爱好者的基础图书，特别适合作为广大军事爱好者的参考资料和青少年朋友的入门读物。全书由资深军事团队编写，力求内容的全面性、趣味性和观赏性。本书由《深度军事》编委会创作，参与本书编写的人员有阳晓瑜、陈利华、高丽秋、龚川、何海涛、贺强、胡姝婷、黄启华、黎安芝、黎琪、黎绍文、卢刚、罗于华等。对于广大资深军事爱好者，以及有意了解国防军事知识的青少年，本书不失为最有价值的科普读物。希望读者朋友们能够通过阅读本书，循序渐进地提高自己的军事素养。

目 录





理论篇

战机是直接参加战斗、保障战斗行动和军事训练的飞机的总称，是航空兵的主要技术装备。主要包括：战斗机、攻击机、轰炸机、战斗轰炸机、侦察机、预警机、反潜巡逻机、电子作战飞机、运输机、空中加油机、教练机、武装直升机、无人机等。战机大量用于作战，使战争由平面发展到立体空间，对战略战术和军队组成等产生了重大影响。

本章精心挑选了军事论坛、贴吧、社区、公众号等平台上的数十个涉及战机设计和制造的热门问题，这些问题的关注度极高，相关知识较为复杂，其中不乏一些脑洞大开、争议较大的问题。本章针对这些焦点问题进行了专业、准确和细致的解答，以客观的态度、权威的资料来解决争议，为军事爱好者释疑解惑。



NO.1　复合材料是不是衡量军用飞机先进性的重要标志？

复合材料（Composite Materials）是由两种或两种以上不同性能、不同形态的材料，通过复合工艺组合而成的新型材料。复合材料既能保持原材料的主要性能，又能通过复合效应与协同效应获得单一原材料不具备的性能，克服单一材料的缺点，从而满足各种不同的需求。

复合材料的分类

复合材料包含基体（Matrix）和增强材料（Reinforcement）两个部分。基体材料主要起到包裹、支撑和保护增强材料的作用；增强材料是复合材料的关键，分布在基体材料中起到提高增强基体材料性能的作用，如提高强度、韧度及耐热性等，增强材料与基体间存在明显不同。

复合材料可以根据基体材料类别、增强材料形态、复合材料功能的不同进行分类。按基体材料类别，复合材料可分为金属基、有机非金属基与无机非金属基，如树脂基、铝基、钛基复合材料等；按增强材料形态，复合材料可分为纤维增强、颗粒增强、短纤维增强、片状增强等，如纳米碳管、碳纤维复合材料等；按材料功能，复合材料可分为结构复合材料、功能复合材料及智能复合材料，如导电复合材料、光导纤维、形状记忆合金等。

目前，复合材料正成为各类航空以及国防装备的关键材料，其用量已成为衡量军用装备先进性的重要标志。美国国防部在 2025 年国防材料发展预测中提到，只有复合材料能够将耐高温、高强度、高模量的指标在现有基础上同时提高 25% 以上。

复合材料的特点

复合材料之所以能发挥如此重要的作用，主要是因为它具有以下突出特点。

第一，各向异性和材料可设计性。这是复合材料最大的特点。复合材料的性能取决于基体、增强体和其含量、铺设方式。复合材料的力学性能及热、光、防腐、抗老化等性能都可以按照使用要求和环境条件，通过组分材料的选择和匹配以及界面控制等手段，对复合材料进行合理的设计，可用最少的材料满足设计要求，有效地发挥材料的作用。

第二，整体成型。复合材料的构件与材料是同时形成的，具有复合材料的组分材料在复合的同时也形成了结构，一般不再对复合材料进行加工。因此复合材料的整体性好，可大幅度减少零部件和连接件数量，降低成本、缩短加工周期、提高可靠性。

第三，比强度、比模量高。飞机结构上主要使用的复合材料以碳纤维树脂基复合材料为主，它具有很高的比强度和比模量。比强度和比模量是材料强度和弹性模量与密度的比值，比强度和比模量是真正体现材料性能优劣的参数，意味着较少的材料能承受更高的载荷。先进的复合材料比强度可以高出铝合金 6 ~ 10 倍，比模量高出 4 倍，先进复合材料的应用能大幅降低飞机的结构重量。



采用了少量复合材料的美国空军 F-16“战隼”战斗机

作为一项新兴的材料技术，复合材料首先在军用飞机上得到应用。复合材料的发展对航空装备的发展有着重要意义。军用飞机性能一半取决于设计，另一半取决于材料。材料的优劣对速度、高度、航程、机动性、隐身性、服役寿命、安全可靠性、可维修性等性能具有重大影响。根据统计，飞机减重中有 70% 是由航空材料技术进步贡献的。



法国空军“幻影 2000”战斗机使用的复合材料比例为 7% 左右

瑞典空军 JAS 39“鹰狮”战斗机的机体有 25% 由碳纤维复合材料制成

NO.2　复合材料主要用在军用飞机的哪些部位?

自飞机诞生以来，其材料结构先后经历了四个发展阶段，复合材料的广泛使用使其正在迈入第五阶段。这五个阶段为：第一阶段（1903 ~ 1919 年），木、布结构；第二阶段（1920 ~ 1949 年），铝、钢结构；第三阶段（1950 ~ 1969 年），铝、钛、钢结构；第四阶段（1970 ~ 21 世纪初），铝、钛、钢、复合材料结构（以铝为主）；第五阶段（21 世纪初至今）：复合材料、铝、钛、钢结构（以复合材料为主）。

20 世纪 60 年代，玻璃纤维增强复合材料首先开始应用于飞机的整流罩、襟副翼中。此时，复合材料力学性能还相对较低，应用复合材料制造的飞机零部件尺寸小、受力水平小。20 世纪 60 年代后期，硼纤维 / 环氧树脂复合材料开始应用于飞机结构上。例如，美国 F-14 “雄猫” 战斗机于 1971 年开始将硼纤维增强环氧树脂复合材料应用在平尾上。



F-14 “雄猫” 战斗机机体结构中有 20% 复合材料

20 世纪 70 年代中期，诞生了以碳纤维为增强体的高性能复合材料，开启了复合材料在军用飞机上的大规模应用。碳纤维增强复合材料具有卓越高比强度、高比模量、耐腐蚀、耐疲劳性能，非常适合航空装备需求。军用飞机的垂尾、平尾等受力较大、尺寸较大的部件开始逐步使用碳纤维增强复合材料，如 F-15 “鹰” 式战斗机（美国）、F-16 “战隼” 战斗机（美国）、F/A-18 “大黄蜂” 战斗 / 攻击机（美国）、米格 -29 “支点” 战斗机（苏联）、“幻影 2000” 战斗机（法国）等军用飞机的复合材料尾翼、垂尾。从 20 世纪 70

年代至今，欧美国家的军用飞机尾翼已经全部采用复合材料。采用复合材料的平尾、垂尾一般占飞机全部结构重量的 5% ～ 7%。



F-15“鹰”式战斗机


米格 -29“支点”战斗机

在尾翼进入复合材料时代后，复合材料的应用开始向军用飞机的机翼、机身等结构受力大、尺寸大的主要构件发展。1976 年，美国麦克唐纳•道格拉斯公司率先研制了 F/A-18“大黄蜂”战斗 / 攻击机的复合材料机翼，并于 1983 年正式服役，把复合材料用量提高到 13%。此后，各国所研制的军用飞机的机翼也几乎全部采用了复合材料，如 AV-8B“海鹞Ⅱ”攻击机（美国）、B-2“幽灵”轰炸机（美国）、F-22“猛禽”战斗机（美国）、F/A-18E/F“超级大黄蜂”战斗 / 攻击机（美国）、F-35“闪电Ⅱ”战斗机（美国）、“阵

风”战斗机（法国）、JAS 39“鹰狮”战斗机（瑞典）、“台风”战斗机（英国、德国、意大利和西班牙）、苏-37“侧卫 F”战斗机（俄罗斯）等。

目前，世界先进军用飞机中复合材料用量占全机结构重量的 20% ～ 50% 不等，主要应用复合材料的部位包括整流罩、平尾、垂尾、平尾翼盒、机翼、中前机身等。如果复合材料占飞机总重量的 50% 左右，则全机绝大部分结构件由复合材料制成，如 B-2“幽灵”轰炸机（目前世界上唯一的隐身战略轰炸机）。



B-2“幽灵”轰炸机

NO.3　军用飞机如何调节座舱温度？

曾有军事专家戏言：“空调就是战斗力，没有空调的武器不是好武器。”这句话并不是玩笑，因为空调对现代化武器装备来说非常重要。例如，坦克中的温度较高，使用空调来降温，可以保证作战人员不会因为温度过高而丧失战斗力，造成非战斗减员。与坦克相比，军用飞机的作战环境更加复杂多变，飞行员面临的身心考验更加严峻。所以，军用飞机的座舱通常都有温度调节功能，但并非通过一般意义上的空调来实现。

飞机发明之前，人类就已经通过气球试验认识到高空稀薄空的气对人体的危害。20 世纪 30 年代中期，飞机座舱增压和空气调节技术得到迅速发展。时至今日，军用飞机大多配备了完善的环境控制系统，即保证飞机座舱和设

备舱内具有乘员和设备正常工作所需的适当环境条件的整套装置。环境控制系统以控制座舱和设备舱的压力和温度为主，它包括座舱供气、空气分配、座舱压力控制、温度控制和湿度控制等。

座舱供气

座舱供气系统是座舱增压和空气调节的气源，主要功用是使舱内气压高于大气环境气压并保持舱内空气清洁。增压气源的主要方式有两种。一种是以发动机压气机出口引出的增压空气作为供气源，其优点是简单、可靠，已得到广泛应用。另一种是采用专门的座舱增压器，从周围大气中直接吸入空气，经增压后供气，可用飞机动力装置机械传动、空气涡轮传动和液压传动等形式。座舱增压器在现代飞机上已很少使用。为了确保座舱供气可靠，在多发动机飞机上一般装置 2 台或 2 台以上发动机引气，以构成 2 个以上的独立增压气源。

空气分配

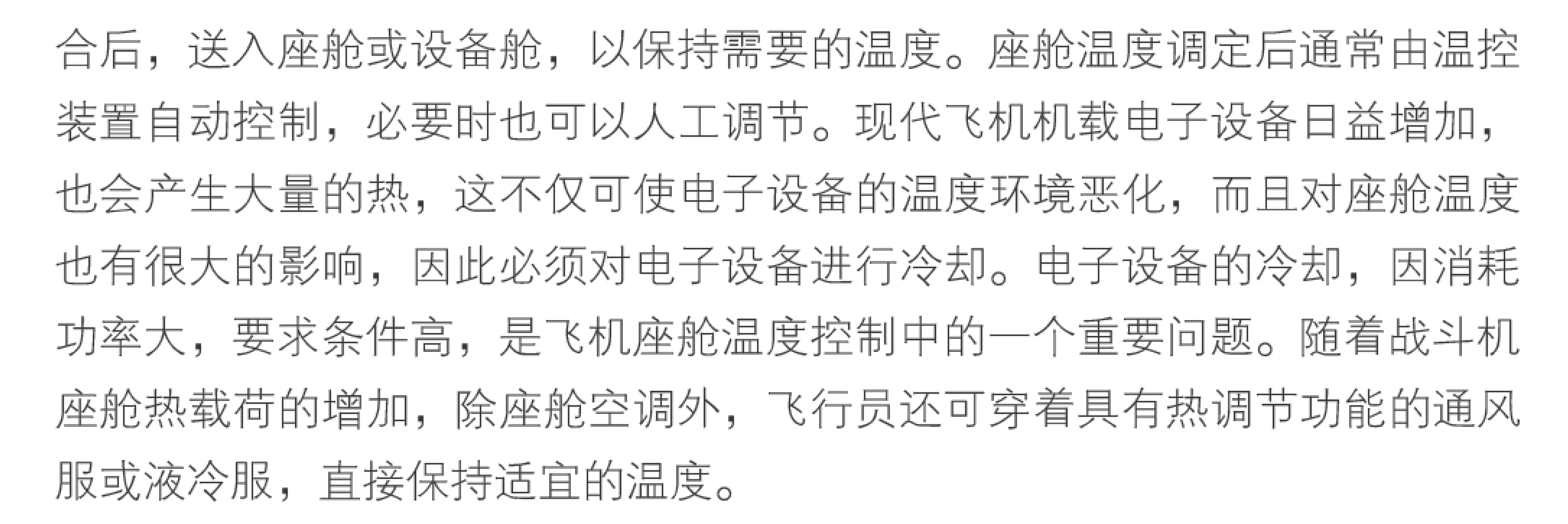
空气分配系统能使调温空气流入并分布于舱内，在舱内生成合适的温度和速度分布，以保证舱内的舒适环境条件。通风空气由空气分配系统的供气喷嘴流入座舱，在舱内流动和通风换气，最后从排气口流出座舱。

座舱压力控制。实现座舱压力控制的主要装置是座舱压力调节器，它由控制器和排气活门（执行机构）等组成。它的功用是使座舱的绝对压力按预定的标准随飞行高度而变化。这种变化规律也称座舱压力制度。这种制度通常因飞机类型不同而异。压力调节器的另一功用是使座舱压力变化速度保持在适当的范围内。此外，飞机还有一些应急装置，用于在压力调节器失效或其他必要情况下控制座舱压力，保证飞行安全。

现代飞机的气密座舱并非绝对气密。座舱由供气装置供气，由排气活门和座舱结构缝隙排气，当供气量与排气量相等时座舱压力可维持不变。座舱压力调节器分为气动式、电子气动式和电子电动式等几种型式。战斗机多采用气动式，运输机则广泛使用电子气动式或电子电动式。更先进的是微处理机控制的数字电动式座舱压力自动控制系统。

温度控制

温度控制系统能够合理地控制热空气和冷空气，对座舱的热载荷进行平衡，以达到控制座舱温度的目的。热空气通常可直接从发动机压气机引出，冷空气由飞机制冷系统提供。低温冷空气与高温热空气经过温控装置适当混



合后，送入座舱或设备舱，以保持需要的温度。座舱温度调定后通常由温控装置自动控制，必要时也可以人工调节。现代飞机机载电子设备日益增加，也会产生大量的热，这不仅可使电子设备的温度环境恶化，而且对座舱温度也有很大的影响，因此必须对电子设备进行冷却。电子设备的冷却，因消耗功率大，要求条件高，是飞机座舱温度控制中的一个重要问题。随着战斗机座舱热载荷的增加，除座舱空调外，飞行员还可穿着具有热调节功能的通风服或液冷服，直接保持适宜的温度。

湿度控制

对空气进行增湿或减湿可以保持座舱空气具有适宜的湿度。舱内空气太干燥会使乘员感到不适；舱内空气湿度过大会使空调系统结冰，舱内出现滴水和雾气，座舱玻璃结雾并影响电子设备。舱温在 15℃ ~ 26℃范围时空气湿度变化对人体影响不大。所以大多数军用飞机对空气湿度不进行控制。但环境控制系统一般都有除湿装置，以除去制冷系统产生的水分。

小贴士

众所周知，海拔每上升 1000 米，温度下降 6℃，所以多数军用飞机作战高度的环境温度都很低，需要进行保暖。少数高速飞机因为速度逼近热障，机体气动加热严重，座舱温度极高，因而需要制冷。例如，苏联米格 -25“狐蝠”战斗机从进气道引气直吹风挡和飞行员进行降温，即便如此，飞行员还需要戴手套才能操作，否则有可能被烫伤。



美国 B-1B“枪骑兵”轰炸机在寒冷的高空飞行

美国 B-52“同温层堡垒”轰炸机座舱内部



美国 C-130“大力神”运输机座舱内部


俄罗斯图 -160“海盗旗”轰炸机座舱内部

NO.4 军用飞机如何为机载设备供电?

军用飞机上的机载设备耗电量巨大，这些设备关系到飞机的作战能力和生存能力，一旦出现故障或供电不足，后果将无法想像。因此，军用飞机通常都配备有完善的电源系统。

一般来说，军用飞机电源系统由主电源、应急电源和二次电源组成，有时还包括辅助电源。主电源由航空发动机传动的发电机、电源控制保护设备等构成，在飞行中供电。当航空发动机不工作时（如地面测试时），主电源也不工作，这时靠辅助电源供电。飞机蓄电池或辅助动力装置（一种由小型机载发动机、发电机和液压泵等构成的动力装置）是常用的辅助电源。飞行中主电源发生故障时，蓄电池或应急发电机即成为应急电源。二次电源是将主电源电能变换为另一种形式或规格的电能装置，用以满足不同用电设备的需要。

自飞机诞生以来，其电源系统经历了低压直流、交流、高压直流的发展过程，其中交流电源分为恒速恒频、变速恒频、变速变频系统。

低压直流电源系统

自 1914 年飞机上第一次使用航空直流发电机以来，飞机直流电源系统经历了 90 年的发展过程，其额定电压由 6 伏、12 伏，逐步发展为 28 伏的低压直流电源系统，一直沿用至今。在低压直流电源系统中，主电源由直流并激发电机、电压调节器、反流切断器和过电压保护器等构成。额定电压为 28 伏，额定功率有 3、6、9、12 和 18 千瓦等数种。由变流机或静止变流器把低压直流电变换为交流电作为二次电源。

交流电源系统

在交流电源系统中，恒速恒频系统的主电源是由恒速传动装置和交流发电机构成的 400 赫、115/200 伏三相交流电源系统。额定容量有 20、30、40、 60、 90、120 和 150 千伏安等几种。它用变压整流器作二次电源，应急电源由飞机蓄电池或应急交流发电机构成。有的飞机上还有辅助动力装置作为辅助电源。这种电源系统容量大、重量轻、工作可靠，适合性能高、用电量大的飞机，如轰炸机、中远程运输机和战斗机等。飞机交流电的频率是 400 赫，比一般市电频率高得多。电源频率高可减小用电设备中的变压器、扼流圈和滤波电容等电磁和电气元件的体积；电动机转速高、重量轻，能满足陀螺仪等高速电动机的要求。频率与发电机的转速有关，受电机结构、强度、损耗和寿命等因素的限制。飞机上多用三相交流电，因为三相系统的电机利用率高、体积小，异步电动机的工作也很可靠。

变速恒频系统是由航空发动机直接传动的无刷交流发动机和频率变换器构成主电源的 400 赫三相交流电源系统。二次电源、应急电源和辅助电源与恒速恒频系统的相同，恒速恒频系统中的恒速传动装置属精度机械，使用维护困难，制造成本较高，自从 20 世纪 50 年代末功率半导体器件出现以后，人类开始研究用电子变频器来代替。变频器有两种：一种是交—直—交型；另一种是交—交型。交—直—交型先将发电机的变频交流电经整流电路变为直流电，再用逆变器变为 400 赫交流电，故这种电源系统又称为具有直流环节的变速恒频电源系统。 交—交变频器直接将发电机产生的多相变频交流电切换成 400 赫三相交流电。1972 年第一套 20 千伏安变速恒频交流电源装机使用，主要用在先进的战斗机上。这种电源系统电能质量高，运动部件少，使用维护方便，可以构成无刷起动 / 发电双功能系统。

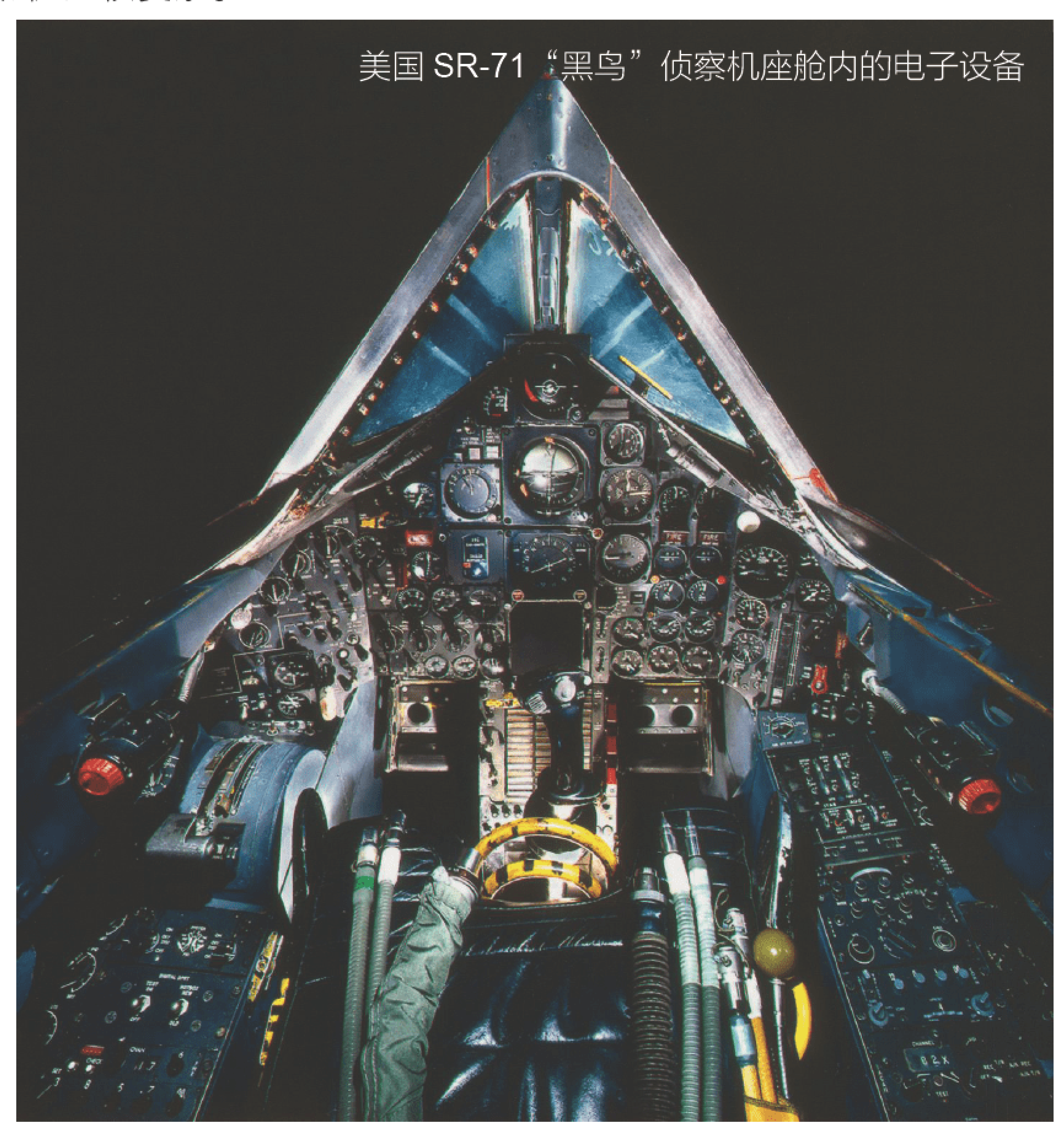
变速变频系统是最早在飞机上使用的交流电源系统，主要用于装有涡轮螺旋桨发动机和涡轮轴发动机的飞机或直升机。在变速变频系统中，交流发

电机是由发动机通过减速器直接驱动的，因而输出的交流电频率随发动机转速的变化而变化。

有的军用飞机采用了混合电源系统，即由低压直流电源和变频交流（有时为恒频交流）电源构成主电源。应急电源用蓄电池，二次电源用变流机或静止变流器。某些运输机和直升机加温和防冰等设备用电量很大，它们的工作与电源频率无关，可以使用变频交流电。某些飞机用恒频交流电的设备较多，则使用由恒频交流电源系统和低压直流电源系统构成的混合电源系统。

高压直流电源系统

随着功率电子器件、大规模集成电路和稀土永磁材料技术的发展，20 世纪 70 年代开始研制额定电压为 270 伏的高压直流电源系统。这种电源系统兼有低压直流电源系统和交流电源系统的优点：效率高，重量轻，并联和配电简便，易实现不中断供电，抗干扰能力强，不需要恒速传动装置，因而简单、经济、维护方便。但电路开关器件、电能变换装置、功率转换装置及无刷直流电动机比较复杂。


美国 SR-71“黑鸟”侦察机座舱内的电子设备

小贴士

飞机用电设备并不是在整个飞机的飞行过程中都同时工作的。飞机任务不同或同一任务的不同飞行阶段使用的设备也不相同。不同设备对电能种类、质量和功率要求各不相同，而且工作时间也有差异。因此，飞机电源系统的功率是按用电功率最大的飞行任务和飞行阶段设计的。军用飞机为了减轻重量，电源功率仅略大于要求功率。



搭载了大量电子侦察设备的美国 U-2“蛟龙夫人”侦察机



美国 E-2“鹰眼”预警机搭载的雷达极为耗电



美国 EA-6“徘徊者”电子作战飞机在高空飞行



NO.5 现役垂直起降战斗机很少的原因是什么？

垂直起降战斗机一直是作战飞机领域的尖端产品。由于垂直起降战斗机对起降场地要求低、部署机动灵活，并且可以实现海、空军通用，所以曾是主要航空技术拥有国竞相发展的热门机种，但由于研制难度和研制成本过大，多个国家先后退出研制行列。迄今为止，包括美国、俄罗斯、德国、英国、法国在内的航空技术先进国家均在垂直起降战斗机领域有过研究，其中美国、俄罗斯、英国的垂直起降战斗机进入过量产阶段，德国、法国的垂直起降战斗机曾经进行过原型机飞行测试。

虽然垂直起降战斗机直到冷战期间才开始大放异彩，但早在二战末期垂直起降战斗机就已经进入了相对实用化的发展阶段。1944 年盟军开始对德国进行大规模空袭之后，由于空军基地、战斗机和战斗机生产线损失殆尽，德国空军逐渐丧失制空权。为此，德国开始研发火箭动力的 Ba 349 垂直起降截击机，准备将其部署于丛林隐蔽地带的临时基地中用以拦截盟军的轰炸机。该机起飞时必须将机身垂直于地面，以便火箭发动机能提供足够的推力确保

实现垂直起飞。因此，Ba 349 称不上是严格意义上的垂直起降战斗机，加上产量极少，对战局发展几乎没有产生影响。


博物馆中的 Ba 349 垂直起降截击机

战后，Ba349 的设计技术被美国人所继承。20 世纪 50 年代，按照美国海军的要求，洛克希德公司和康维尔公司分别研制了 XFY-1 和 XFV-1 两种垂直起降技术验证机。虽然两者布局不同，但都采用了涡桨动力加较大尺寸的螺旋桨，起飞时其机身与 Ba 349 一样需要垂直于地面。与 Ba 349 相比，XFY-1 和 XFV-1 的最大进步除了采用更加可靠的涡桨发动机以外，就是实现了真正意义上的垂直起降。由于这种布局的飞机在起降时飞行员几乎看不到地面，操作难度和风险极大，因此美军最终并未选择这种布局实现垂直起降。

冷战时期，美国、西欧国家和苏联都曾经钟情于垂直起降战斗机的研发。20 世纪 50 年代，联邦德国航空企业提出了多种垂直起降战斗机方案，虽然这些方案各不相同，但一般都采用“可偏转发动机＋专用升力发动机”的布局模式，其中 VJ-101 是技术上最为可行的方案，该机在试飞中表现优异。同一时期，美国也发展了类似 VJ-101 的 XF-109 方案。然而由于这种动力系统所需发动机数量过多，不仅在操作上较为复杂、结构上安全冗余度低，而且挤占了过多的机身空间造成燃油容量和载弹量低下。有鉴于此，联邦德国

最终放弃了垂直起降战斗机的研发。

相比之下，英国的“鹞”式和苏联的雅克 -38 要成功得多。两者采用了偏转喷口设计（前者完全依赖偏转喷口，后者则保留了升力发动机），其结构复杂性相较以往的垂直起降战斗机大大降低，随之安全性也得到提升，这使“鹞”式至今仍然是包括美国在内的多个国家所采用的主力机型之一，雅克 -38 则是苏联海军装备苏 -33“海侧卫”战斗机之前性能最好的舰载机。



“鹞”式垂直起降战斗机正在起飞



博物馆中的雅克 -38 垂直起降战斗机

相对于美国、苏联、英国和德国的垂直起降战斗机方案，法国的垂直起降战斗机要保守得多。法国于 20 世纪 60 年代在“幻影Ⅲ”战斗机基础上研制了垂直起降的“巴尔扎克”和“幻影Ⅲ V”技术验证机，这两种技术验证机并未更改“幻影Ⅲ”的气动布局，仅仅在机身内加装了 8 台劳斯莱斯 RB162-1 升力发动机，并将主发动机更换为 TF104 涡扇发动机。试验中，这两种技术验证机均表现良好，但由于两机先后在试飞中坠毁，法国最终取消了垂直起降战斗机的研发计划。与法国类似，苏联也曾在苏 -11 截击机和米格 -23 战斗机上加装升力发动机以验证垂直起降技术，虽然这种方式风险小、成本低，但是各项性能较差，所以也都没有批量生产。

20 世纪 80 年代，研制垂直起降战斗机的国家进一步减少。这一时期除英国和苏联继续对“鹞”式和雅克 -38 进行改进之外，在垂直起降战斗机研究方面取得成果的国家只有美国，但其研制的 AV-8B“海鹞Ⅱ”垂直起降攻击机是与英国共同研发，并且是在“鹞”式的基础上改进而来。1987 年，苏联研制的雅克 -141 超音速垂直起降战斗机试飞成功，但由于后续试飞工作不顺利及苏联解体的影响，雅克 -141 最终未能批量生产，其后续改进型雅克 -43 和雅克 -201 也被迫停止于方案设计阶段。20 世纪 90 年代后，英国和俄罗斯也退出了垂直起降战斗机的研制国家行列。至此，只剩下美国继续研究垂直起降战斗机，即 F-35“闪电Ⅱ”战斗机的垂直 / 短距起降版本（F-35B）。



AV-8B“海鹞Ⅱ”垂直起降攻击机在高空飞行


测试中的 F-35B“闪电 Ⅱ”垂直起降战斗机

从技术角度而言，垂直起降战斗机可以认为是当今战术作战飞机方面技术含量最高的一种。除了常规起降作战飞机的必备技术以外，由于垂直起降涉及升力系统与平飞动力系统之间的操控转换、垂直起降时机体需承受高温燃气、发动机推力必须满足同时升力和平飞等特殊需求，其对于材料水准、发动机设计和操控系统都有极高的设计制造要求，这也是半个多世纪以来研制垂直起降战斗机的国家越来越少的原因。



NO.6　军用飞机的起落架有哪些类型?

起落架的主要作用是供飞机起飞、降落和地面移动等，它不仅仅是飞机结构的组成部分，而且是一个包含众多机构的复杂综合系统。起落架关系到整架军用飞机是否能够顺利起飞和安全着陆。

起落架的设计要求

第一，军用飞机在起飞、着陆和地面运行等工作条件下，应当保证除起落架之外，机体其他部分及外挂物同地面之间有着适当的间隙。第二，机轮的充气压力及起落架设计方案的选择应当同机场路面的承载能力相适应，并

满足规定的承载能力要求。第三，可以承受规定的着陆撞击载荷、刹车载荷、不平路面滑行的撞击载荷，具有良好的稳定性和阻尼特性，不应该产生过多的振动和前轮摆动。第四，具有符合战技术要求的刹车和减速效能，拥有良好的地面滑行稳定性和机动能力，特别是在侧锋着陆及高速滑行时，军用飞机不应当有不稳定的现象。第五，起落装置应当有合适的结构固定支点、收放机构和收藏空间。系统有可靠的防错设计、防错标志，简便可靠的检查维修方式，并配备有应急系统。第六，应满足规定的地面牵引、顶起和系留要求。第七，起落架的主要部件及机轮应当满足规定寿命要求。第八，强度、刚度和疲劳断裂性能合格，重量轻，能够满足型号分配的重量指标。

起落架的布局形式

军用飞机的起落装置一般包括：起落架的结构部件；地面滚动部件；控制部件；辅助减速部件；起落架舱门及其收放装置和系统；地面操作系统和其他子系统，比如用于牵引、顶起、系留以及防止擦撞尾部的尾部缓冲装置；拦阻装置。

虽然起落架的结构在大体上是相同的，但考虑到飞机的不同特征，起落架的布局形式主要有三种，即前三点式、自行车式和后三点式。其他形式的起落架一般是根据特殊需要设计的，其中最常见的是为大型飞机设计的多点式起落架。

前三点式起落架的两组主轮布置在飞机重心靠后的地方，另一组前轮布置在飞机的头部下方。这种布局形式在现代飞机上被广泛应用。其优点有：飞机在地面运动时的方向稳定性好；着陆时可猛烈刹车且不会导致飞机向前翻倒，从而可以采用高效刹车装置，大大缩短着陆滑跑距离，对高速飞机非常有利，着陆操纵相对简单；飞机的纵轴线接近水平位置，飞机滑跑阻力条件下，起飞加速快。前三点式起落架的缺点是前起落架长、受力大、重量大，有时候甚至会造成飞机布置的困难。

后三点式起落架一般配备给小型、低速和配备活塞式发动机的飞机，也就是将起落架的主轮布置在飞机中心的靠前处，另一个尾轮布置在飞机的尾部。这种起落架的空间容易保证，尾部起落架重量较轻且又短又小，因此容易布置和收放。另外，地面滑跑时迎角很大，可以利用飞机阻力来减速，从而减小着陆和滑跑距离。后三点式起落架的缺点包括：高速滑跑时，遇到前方撞击或强烈制动，容易发生飞机倒立；实际速度超过规定值时，飞机容易发生“跳跃”现象；起飞和降落时滑跑不稳定；向下视界不佳。后三点式起



落架主要用于早期飞机，现在已经很少采用。

自行车式起落架的布局是在机身下部的飞机重心前后，各设置一个主轮，并在机翼下方各安装一个护翼轮。这种布局形式一般用于有特殊需要的飞机，例如在中机身上装有弹舱的 B-52“同温层堡垒”轰炸机和采用垂直起降方式的 AV-8B“海鹞Ⅱ”攻击机。军用飞机采用自行车式起落架，可以解决飞机主起落架的收放问题。这样做的缺点是前起落架承受载荷大，起飞滑跑时不容易离地造成滑跑距离增大，且不能采用主轮刹车的方法等。



装有前三点式起落架的法国“幻影Ⅳ”轰炸机



装有前三点式起落架的俄罗斯苏-35“超侧卫”战斗机



放出起落架准备降落的 B-52“同温层堡垒”轰炸机



装有自行车式起落架的 AV-8B“海鹞Ⅱ”攻击机

NO.7 后三点式起落架在喷气时代迅速被淘汰的原因是什么？

1903 年，美国莱特兄弟发明并且成功飞行的第一架飞机是没有起落架的，用带轮子的小车在滑轨上靠落锤装置弹射辅助起飞。1906 年，巴西的飞机制造者、飞行家桑托斯·杜蒙特发明的飞机，首次出现了类似现代起落架的装置，

在采用轮式起落架以后，飞机在地面的移动、起飞前滑跑和着陆性能都有了很大的提高。到了一战时，后三点式起落架的格局逐渐确立，即起落架的两个支点（主轮）对称地安置在飞机重心前面，第三个支点（尾轮）位于飞机尾部。后三点式起落架一直应用到二战后期，也就是在 20 世纪二三十年代的战斗机，均是后三点式起落架的设计，如德国 Bf-109 战斗机、英国“喷火”战斗机等。


装有后三点式起落架的德国 Bf-109 战斗机



装有后三点式起落架的英国“喷火”战斗机

随着二战的结束，飞机进入喷气时代，在非常短的时间内，后三点式起落架迅速被淘汰，这是为什么呢？其实，这和飞机的飞行速度、喷气飞机的结构、气动布局等均有关系。早期的螺旋桨飞机之所以会广泛应用后三点式

起落架，而没有采用四点式或五点式起落架，就是因为后三点式结构简单稳定，易于装置尾轮。与前轮相比，尾轮结构简单，尺寸、质量都较小，这点在当时很重要，螺旋桨飞机最大的特点自然是机身前端巨大的螺旋桨，而要想将螺旋桨远离地面，就必须将飞机机身前端抬高，后三点式起落架的设计自然最为稳定。

另外，早期的螺旋桨飞机因为动力不足的原因，克服阻力是每款飞机首要解决的问题。后三点式起落架的设计，飞机在正常着陆时，3 个机轮同时触地，这就意味着飞机在飘落时的姿态与地面滑跑、停机时的姿态相同。从这个角度来讲，在降落时间因为有巨大的仰角，可以利用较大的飞机阻力进行减速，从而可以减小着陆时间和滑跑距离，相反，较大的仰角进行起飞时也更加方便高效，阻力最小，可谓是两全其美。

而到了喷气时代，后三点式起落架的优势全无，而之前的缺点却被放大。后三点式起落架最大的弊端就是飞机重心位于主轮之后，主轮的高度比尾轮高，因此当飞机在滑行或停泊时在驾驶舱的飞行员会仰望天空，能够看到地面的视野非常有限。所以起飞时一进入跑道要先左右两个方向转再对正跑道加速起飞，这个程序是让飞行员透过左右转向目视跑道尾端来确认对正跑道，因为后三点式起落架的飞机在对正跑道时，飞行员是看不到的。而且一不小心，或者地面不平、有碎片，就会以“拿大顶”的方式着陆。

小贴士

拿大顶是头手倒立运动的俗称。这是一种反常规运动，头朝下脚向上，双手贴地，身体或倚墙或不靠任何物体。

除了视野外，还有喷气式飞机的设计布局和螺旋桨飞机有了很大的不同。螺旋桨时代，发动机、挂载、机翼均靠前，重心位置靠前，所以前部布置两个轮子，作为主起落架，后面一个保持平衡。到了喷气时代，飞行速度得到了很大的提升，为了减小阻力，机翼开始采用后掠角设计，再加上后移的发动机和挂载，飞机的重心自然也后移了，设计前三点起落架是必然的结果。另外，由于喷气机起降速度快，起降不好控制，后三点起落架导致的视野不好的问题也变得更为致命。

就喷气式飞机本身而言，前三点起落架可以让起飞滑跑尾部的喷流不直接吹向地面，飞机在离地爬升阶段才让尾部的喷流直吹地面。而如果是后三点起落架的话，从滑跑阶段开始，喷气式发动机的高温喷流就会一直作用在

跑道上。因此，从喷流的角度来看，前三点起落架也更适用于喷气式飞机。

当然，前三点式起落架也不全然是优点，前起落架承受的载荷大、尺寸大、构造复杂，因而质量大，小迎角状态因而不能充分利用空气阻力进行制动，前轮会产生摆振现象等。不过由于现代飞机的着陆速度较大，并且保证着陆时的安全成为考虑确定起落架形式的首要决定因素，前三点式着陆时，只用后两个主轮接地，比较容易操纵，这方面与后三点式相比有着明显的优势，因而得到最广泛的应用。时至今日，现代飞机除一些装有活塞式发动机的轻型、超轻型低速飞机外，基本不会使用后三点式起落架。



装有前三点式起落架的法国“幻影Ⅲ”战斗机



装有前三点式起落架的德国“狂风”战斗机

NO.8 战斗机的轮胎与汽车轮胎有何区别？

轮胎对于战斗机来说是非常重要的部件，可以说没有轮胎，战斗机根本无法在地面上起降。因为战斗机在降落的时候，较大的机身重量和较快的飞行速度会对机身产生非常大的作用力，而轮胎不仅可以减轻机身受到的伤害，还能够对战斗机起到刹车作用。我们知道，爆胎是汽车的常见事故，但战斗机几乎不会发生爆胎。那么战斗机使用的是实心轮胎还是充气轮胎，为什么爆胎率那么低？

事实上，战斗机使用的轮胎是一种特种轮胎，它与汽车的轮胎不同，汽车的轮胎都是有内胎结构的，而战斗机的轮胎是一种无内胎、双胎面轮胎。简单来说，战斗机轮胎的内部和外部都是一样的，不过这并不意味着战斗机轮胎就是实心轮胎，而是在实心的基础在轮胎内部留下一层空洞，空洞里面充有气体，与一些汽车轮胎充空气不一样，战斗机轮胎充的是氮气或者氩气，普通战斗机轮胎充氮气，超音速战斗机轮胎则需充氩气。

为什么战斗机轮胎需要充氮气或者氩气？那是因为空气在热胀冷缩的时候变化非常大，而战斗机轮胎对于机体是非常敏感的，稍有变化就会影响战斗机的平衡，而氮气或者氩气是一种惰性气体，不会因为温度过高或者过低而变化，也就说不会因为热胀冷缩的变化而受到影响，所以它们非常适合用于战斗机的内胎充气。除了变化小的特点外，氮气或者氩气还可以提高战斗机轮胎的安全系数，因为空气中含有氧气，物体受到氧气的影响就会发生氧化反应，时间久了物体就会受到损害，而氮气或者氩气可以保护战斗机轮胎不会发生氧化反应，因为这两种气体不含有氧气。


米格 -29“支点”战斗机的轮胎

一般来说，战斗机或者普通轻型飞机的轮胎里面只有一层空洞，而如果是大型飞机比如轰炸机、运输机、加油机等，这些飞机的轮胎

则有多层空洞。也就是说，大轮胎里面装有一个缩小的中等轮胎，然后中等轮胎里面还有一个小型轮胎，大轮胎与中等轮胎，中等轮胎与小型轮胎之间都会填充氮气或者氩气。这样做的目的就是让轰炸机、运输机和加油机等大型飞机在降落的时候不会像战斗机那样左右摇摆，可以提高降落时的安全性。

战斗机轮胎之所以没有采用内胎，主要是方便拆解，以免在激烈的战斗中影响战斗机的作战效率。战斗机轮胎非常方便维护、保养和拆装，在需要飞行的时候直接向轮胎充气就可以了。由于战斗机轮胎是由特种材料制成的，价格非常昂贵，所以出现磨损后不会直接作废，一般都会回收到工厂进行特殊处理，然后再对磨损的部分进行翻修，经检验合格后再次投入使用。


F/A-18“大黄蜂”战斗 / 攻击机的轮胎


F-22“猛禽”战斗机正在更换轮胎


欧洲“台风”战斗机准备起飞

NO.9 军用飞机使用的喷气式发动机有哪些类型？

在过去的 100 多年里，航空发动机基本上可分为活塞式发动机与喷气式发动机两大类。活塞式发动机具有耗油低、成本低、工作可靠等特点，在喷气式发动机发明之前的近半个世纪内，是唯一可用的航空飞行器动力。1939 年，世界上第一架以喷气式发动机为动力的德国亨克尔 He-178 飞机在首次试飞时就达到了 700 千米/时的飞行速度，已接近活塞发动机飞机的极限速度，宣告了一个新的航空时代的到来。

喷气式发动机利用低速流入发动机的工质（空气或燃料）经燃烧后以高速向后喷出，直接产生向前的反作用力推动飞行器前进。它可以产生很大的推力，而自身重量又较轻，从而大大提高了飞机的飞行速度。


博物馆中的亨克尔 He-178 喷气式飞机

喷气式发动机可分为无压气机和有压气机两类。无压气机的喷气式发动机包括冲压式喷气式发动机和脉动式喷气式发动机，有压气机的喷气式发动机包括涡轮喷气式发动机、涡轮风扇发动机、涡轮螺旋桨发动机和涡轮轴发动机。

冲压式喷气式发动机

冲压式喷气式发动机由进气道（扩压器）、燃烧室和尾喷管组成，它利用飞行器高速飞行时，迎面气流进入发动机减速增压后直接进入燃烧室喷油燃烧，从燃烧室出来的高温高压燃气直接进入尾喷管膨胀加速，向后喷出，产生反作用推力。它不能在静止状态或低速下启动，需要用其他助推器使航空器达到一定速度后才能启动并开始有效工作。按飞行速度，冲压式喷气式发动机可分为亚音速和超音速两种。

脉动式喷气式发动机

脉动式喷气式发动机是空气和燃料间歇地供入燃烧室的无压气机喷气式发动机。当一股空气顶开进气活门进入燃烧室后，进气活门在弹簧作用下关闭，此时喷进燃油并点火燃烧，燃烧后的高温燃气由尾喷管高速喷出，产生推力，吸开进气活门，空气又进入发动机燃烧室，重复上述过程，因此燃烧与喷气是断续的。

涡轮喷气式发动机

涡轮喷气式发动机的特点是完全依赖燃气流产生推力，通常简称为涡喷发动机，可分为离心式与轴流式两种。与离心式相比，轴流式具有横截面小，压缩比高的优点，当今的涡喷发动机大多为轴流式。涡喷发动机适合航行的范围很广，从低空亚音速到高空超音速飞机都广泛应用。苏联米格-25“狐蝠”高空超音速战斗机即采用留里卡设计局的涡喷发动机作为动力，曾经创下3.3马赫的战斗机速度纪录与37250米的升限纪录。与涡轮风扇发动机相比，涡喷发动机的燃油经济性要差一些，但是高速性能要优于涡轮风扇发动机，特别是高空高速性能。

涡轮风扇发动机

涡轮风扇发动机是目前较为常见的航空发动机，通常简称为涡扇发动机。与涡喷发动机相比，涡扇发动机在压气机的前方有一个与压气机串联的风扇，贯穿发动机的传动轴直接驱动风扇，风扇也有一定的压气能力。整个引擎分

为内外涵道，内涵道类似于涡喷发动机，外涵道则直接让风扇加速过的气流高速通过。高涵道比的涡扇发动机推力更大，更省油，提速更快，但是风扇自身带来的阻力对飞行器的速度性能不利，因此战斗机这类追求卓越速度性能的飞行器普遍采用低涵道比的涡扇发动机。

涡轮螺旋桨发动机

涡轮螺旋桨发动机通常简称为涡桨发动机，它与涡扇发动机结构较为类似，不过压气机前方的风扇换成螺旋桨，传动轴通过变速齿轮组驱动螺旋桨，可以理解为外涵道无限大的涡扇发动机。涡桨发动机在低速低空下能提供更好的推力，油耗更低，因此适用于需要频繁起降并在低空飞行的飞机，如运输机和海上巡逻机等。现代的涡桨发动机还可以调整螺旋桨叶片的角度，以形成包括反推在内的诸多推力级别。

涡轮轴发动机

涡轮轴发动机从涡喷发动机衍生而来，通常简称为涡轴发动机，主要用于直升机。它是一种将燃气通过动力涡轮输出轴功率的燃气涡轮航空发动机，其工作特点是几乎将全部可用能量转变为轴功率输出，高速旋转轴通过减速器用来驱动直升机的旋翼及尾桨。



使用涡喷发动机的苏联米格 -25“狐蝠”战斗机





使用涡扇发动机的印度“光辉”战斗机



使用涡桨发动机的俄罗斯图 -95“熊”轰炸机



NO.10　军用飞机不使用核动力的原因是什么？

核能是人类目前所能利用的能源中最具破坏力的能源，同时也是一种强

大的动力源。在现代军队中，核动力航空母舰和核潜艇已经不是新鲜事物，美国、英国、法国和俄罗斯等国都拥有核动力舰艇。核能在可控的情况下进行缓慢释放，一台核反应堆可以持续数年甚至数十年提供巨大的能量。以美国“福特”级航空母舰为例，其满载排水量超过 10 万吨，却凭借 2 台 A1B 核反应堆取得了 30 节的最高航速，反应堆堆芯的使用寿命长达 50 年。

有鉴于此，许多人都会产生一个疑问：弹道导弹核潜艇和战略轰炸机都是重要的战略核力量，为什么前者可以采用核动力推进，后者却不可以？如果将核动力装置运用在战略轰炸机上，便可以让它在空中持续飞行上百上千小时，它的降落只可能是需要补充食物或弹药。如此一来，战略轰炸机将不再受航程的制约，岂不是拥有更强大的核威慑能力？事实上，核动力飞机其实算不上什么稀奇的技术，早在 20 世纪 50 年代，美国和苏联两国为保持战略威慑均尝试过以核燃料为动力的飞机，并期待该机携带核武器在空中长期存在。

从 1946 年起，美国就开始了核动力飞机研制计划，直到 1950 年左右推出了核动力样机 NB-36H。该机是用 B-36H 轰炸机加载一个小型核反应堆后改造而成，有两种驱动方式。第一种是混合动力方式，在陆地采用汽油动力起飞，而到空中巡航的时候，才使用核动力。反应堆启动后，加热堆芯周围的液态金属，接着让高速气流与高温液态金属接触，将气流变成高温高压气体，经过导流，这些气体通向各个引擎的增压涡轮，最后喷出产生后推力。之所以不在起降时使用核动力，主要是为了减少核污染。因为高速气流通过堆芯的液体金属再排出，核污染比较严重。

第二种方式是空气不直接进入堆芯，而是使用热交换器加热空气。热交换器里面有水或者液态金属，它们循环流动，不断把热量从堆芯带出来，并加热从外面通过的空气，如此往复。从本质上来说，NB-36H 的两种驱动方式都是可行的，而之所以实验第二种方式，目的还是为了降低核辐射和污染。

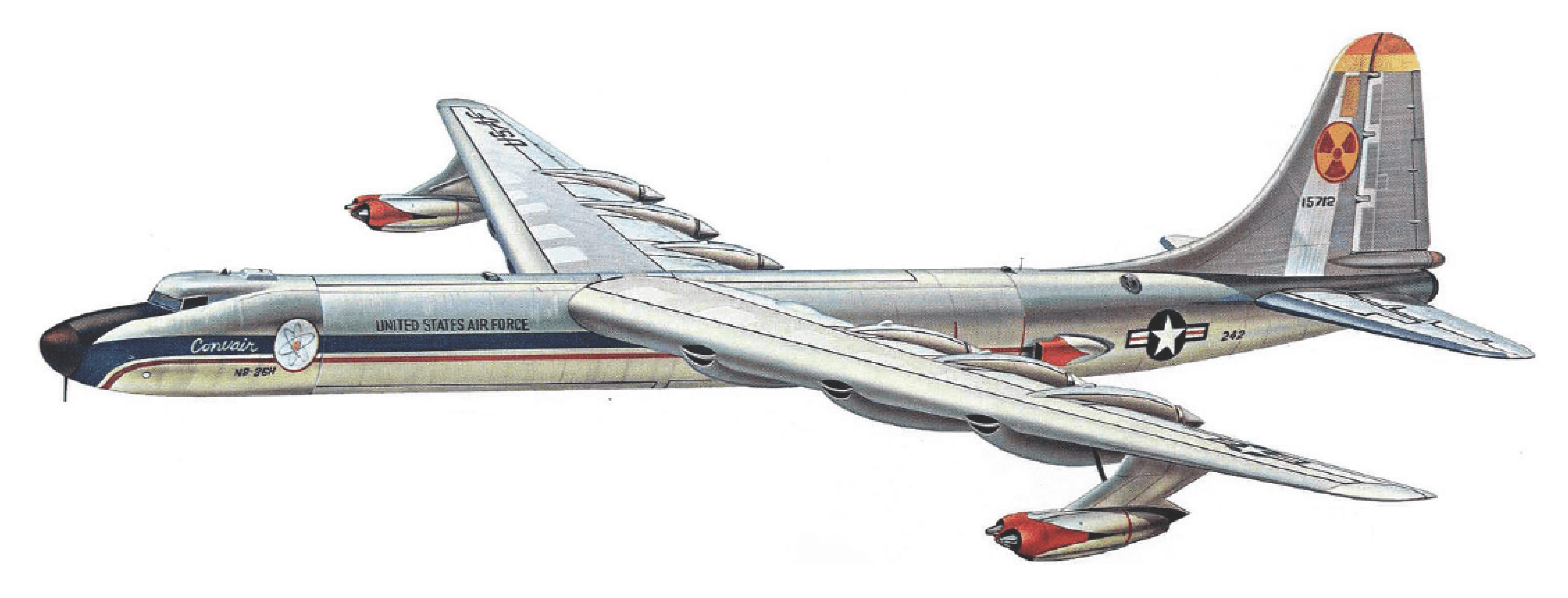
测试数据显示，NB-36H 可以在 740 千米 / 时的巡航速度下，飞行 48300 千米，而现代喷气式客机的航程最远仅为 10000 多千米。在 NB-36H 的试验飞行过程中，美国获得了大量关于核辐射影响的数据。如何保护驾驶员不被长时间辐射？如何在飞机坠毁后避免核泄露？这是 NB-36H 面临的两大难题。核动力航空母舰和核潜艇之所以比较容易实现，是因为它们天生就在海里，可以用取之不尽的海水来冷却堆芯，另外就是航空母舰和潜艇体积庞大，安装核反应堆后，还可以安装重达几十吨的保护罩，但是飞机就做不到这一点。

小贴士

NB-36H 安装核反应堆试飞，测试核反应堆对驾驶员的辐射水平时，旁边还跟着另一架飞机，上面装满了士兵，就是为了万一 NB-36H 坠毁，能第一时间冲下去，封锁现场，避免周围民众受到核辐射。

在美国研发核动力飞机的同时，苏联也没有闲着。1955 年，苏联设立核动力飞机项目，并选用图 -95M 轰炸机作为核动力载机，1956 年图 -95LAL 横空出世。在完成大量地面测试后，该机于 1961 年 5 ～ 8 月完成了 34 次试验飞行，但核燃料仓只开启了 5 次。

由于核动力飞机的技术困难较大，加上洲际弹道导弹与高效涡轮发动机技术的发展，降低了对核动力远程轰炸机的需求，美国和苏联相继下马了核动力飞机计划。



NB-36H 核动力飞机外形图



正在试飞的 NB-36H 核动力飞机


NB-36H 核动力飞机在低空飞行



NO.11　军用飞机如何防范雷电伤害?

云层天气变化无常，军用飞机需要在各个高度执行任务，难免遇到雷电。有关资料显示，在固定航线上飞行的飞机平均每年都会遭受一次雷击。20 世纪 70 年代，美国平均每年有一架战机毁于雷电。由于飞机整机由高强度金属组成，极易导电。而一旦被雷电击中，飞机将遭受严重的破坏，重则击穿破裂轻则受损变形，这对极速飞行的战机是十分危险的。而且飞机上搭载的各类高精度电子仪器设备也会受到影响。所以军用飞机防雷是一大重点。

飞机上的防雷系统可分为两类。一类是飞机在停放时配置使用的，即在飞机机身安装一条避雷带，与地面连接。因为飞机停放在陆地上，其实质类同于地面的建筑物，同样要安装避雷装置。最好的防雷击方法是把飞机停放在安装了防雷系统的停机坪内。如果必须停放在停机坪外，应安装一条专用的接地线，将飞机的机身与大地连接起来。

另一类是飞机在飞行状态中使用的，该配置包括气象雷达等雷暴预报系统，它能告知飞行员前方的天气变化，让飞行员有充足的时间做好预防准备或远离雷暴云带。加上地面的气象预报，飞行员只要正确操纵，绕过或迅速脱离雷雨区是很容易办到的事情。另外飞机上还安装了避雷器，当飞机在避无可避的情况下，不得不穿行于雷雨区时，避雷器会把飞机遭遇的雷电流分流到机身外，并引导雷电释放到天空中。从而避免油缸及控制、通信设备遭

受破坏，保障机上的乘员以及飞机本身的安全。

飞机的防雷技术在不断进步，不断发展，今天世界各国对飞机防雷性能制定的技术标准越来越严格，尤其是对现代的军用飞机。由于在战争状态下，用于军事斗争的飞机往往没条件像民航飞机那样，从容改变飞行高度、路线，绕道避开雷雨区，所以对军用飞机的防雷技术要求更高。另外，假如能够提高军用飞机的避雷性能，则意味着其抗电子干扰性能也有了相应的提高，其军用技术级别也有了实质上的提升，所以军用飞机的防雷击系统是相当先进的，它们在设计时已作了周密的考虑。

在设计军用飞机时，往往把飞机机身分成若干个雷击性质相近的破坏区域，根据各雷击破坏区域可能被破坏的概率，决定飞机上一些电子仪器适宜安装在哪个位置，以利于远离雷电过压突波可能造成的破坏。美国联邦航空局制定了联邦航空条例规定，飞机必须能够承受灾难级闪电的袭击，在任何可预见的情况下，飞机的设备、系统都能发挥其基本功用，必须保障“飞机遭雷击后，无论其损坏部分是电机设备、电子仪器或机身结构，都不可以影响飞机继续安全飞行”。因此，必须对飞机紧急系统及仪器采取额外的保护。条例中提出重点保护的电子仪器有：引擎参数仪表、飞翼防冰系统、电源、燃油流动仪表、航空仪器、警告灯电源、通信系统、导航系统、引擎火警警报系统等。

美国联邦航空条例的这一规定，已被世界航空制造业普遍认同，例如战斗机必须达到这一标准方可进入英国、德国、意大利、西班牙等国的军队服役。


停放在防雷停机坪内的美军直升机


美国 F-35“闪电Ⅱ”战斗机经过雷暴云带


闪电下的美国 F/A-18“大黄蜂”战斗 / 攻击机



美国 F-16“战隼”战斗机编队在云层上飞行



NO.12 军用飞机在冬季如何进行除防冰作业？

随着科学技术的不断进步，军用飞机在设计和制造时充分考虑了实用性、操纵性和安全性，飞机自身的可靠性不断提升，由于飞机自身设计原因导致的事故显著下降。尽管如此，天气仍是影响飞行安全的重要因素之一，如颠簸、风切变、雷雨、积冰、低云及低能见度等危险天气。对于冬季飞行来说，影响飞行安全的最大天敌就是飞机积冰。因此，军用飞机在冬季必须进行除防冰作业。

军用飞机之所以要进行除防冰作业，是因为飞机起飞是靠机翼在空气中相对运动形成的升力，飞机在达到一定的速度后机翼会产生上浮的升力，而升力的大小依机翼的形状而变化，所以飞机起飞时机翼表面不能有任何附着物。如果这时机翼表面有积雪或积冰，气流就容易分离，飞机在空气中飘浮所需要的升力就会降低，而且机翼积冰有可能妨碍飞机的操纵系统，即便飞机飞行也会处于不稳定状态。如果机身外部的空速管或静压探口发生堵塞或变形，还会导致错误的飞行数据。此外，机身上的透明冰脱落还会使机体或发动机受损。因此，一旦确认机翼表面有霜或者积雪或者因低温导致的结冰就必须实施除雪除冰作业。

目前，大多数军用机场采用的除冰方法有停机位除冰和在机场指定区域进行的定点除冰。军用飞机的除防冰作业是以除雪车向飞机喷洒除冰液将雪和冰融化，之后如果至飞机起飞前仍持续降雪或者判断机翼表面的水分有可能再发生积冰时，还要在机翼表面再度喷洒防冰液。除冰车装有除冰液和防冰液两种液体。前者是水和原液的混合液，经过除雪车上的锅炉加热至65℃～85℃后进行喷洒；后者也是水和原液的混合液，但一般不需加热。

除降雪天气外，还有一种情况需要对军用飞机进行除霜作业。因为飞机在温度为零下50℃的平流层飞行数小时后，燃油箱（通常位于机翼中）及其内部的燃油也会处于低温状态，当飞机降落，地面湿度高时附着在机翼外表的水分就会结霜，这个时候就需要进行除霜作业。另外，气温在零下时出现的浓雾，如果附着在冰冷的机体上也会形成一种肉眼看不见的表膜，这时也需要实施除防冰作业。

除了军用飞机自身，军用机场同样需要进行除防冰作业。在遭遇降雪天气时，军用机场必须要同时进行跑道、滑行道的除雪作业和飞机的除雪除冰作业。如果跑道达不到飞机起飞标准，机场还要关闭。



美国 F-16“战隼”战斗机在风雪中降落



美国 C-130“大力神”运输机正在进行除冰作业





俄罗斯苏 -30“侧卫 C”战斗机在积雪跑道上降落



俄罗斯米格 -31“捕狐犬”战斗机在冬季执行任务

NO.13　航天飞机返回地球需要克服哪些技术难题?

航天飞机（Space Shuttle）是一种有人驾驶、可重复使用、往返于太空和地面之间的航天器。它既能像运载火箭那样把人造卫星等航天器送入太空，也能像载人飞船那样在轨道上运行，还能像滑翔机那样在大气层中滑翔着陆。

出于种种技术和经济的考虑，航天飞机大多采用垂直发射、水平着陆的方式。航天飞机的发射是一个惊心动魄的过程，但仍然比不上航天飞机返回地球时的惊险刺激。理想的航天飞机应该可以在不需特别准备的跑道上用自身动力滑跑起飞降落，在加速脱离地球引力进入轨道过程中不需要抛离昂贵的助推器，完成空间任务返回大气层时有优良的气动控制能力和正常的飞行能力，除添加燃料外不需要地面大修，就可以在短时间内再次出动。遗憾的是，现在的航天飞机远未达到这种水平。因此，航天飞机返回地球需要克服以下技术难题。

气动设计

航天飞机的水平着陆，实际上是无动力的滑翔着陆。换句话说，航天飞机一旦脱离地球轨道、进入大气层，就不可能复飞了，必须降落，最好就是指定地点。这就要求航天飞机必须具有良好的升阻比，可以滑翔一定的距离，在滑翔中具有良好的操控性能，尤其要有良好的着陆操控性能。换句话说，航天飞机要有良好的低空低速性能，即采用具有较高升阻比的细长机翼。然而，航天飞机在返回大气层之初，速度可以高达 24 马赫，这又要求航天飞机具有良好的极高速性能，最好采用阻力最小的升力体布局，否则就会被气动应力撕裂或者被气动加热烧毁。为了调和这种矛盾，现在的航天飞机大多采用升力体加三角翼布局。这是一种折中的设计，导致航天飞机的操控性很差。

气动加热

从减低气动阻力以减少气动加热的角度看，航天飞机应该采用尖锐的头部。但理论计算和实验证明，再入过程中极高的速度使气动加热的升温速度太快，尖锐的头部对减小气动加热的作用微乎其微，头锥在时间和空间上受到高度集中的热负荷，根本没有时间散热，将很快被烧毁。耐热材料或隔热、

散热、导热技术只能略微推迟被烧毁的时机，但不能从根本上改变被烧毁的结局。

1951 年，美国物理学家亨利 • 艾伦在机密的内部研究中发现，高速再入大气层的航天器前端可对空气产生强烈压缩，在前方大气中形成一个伞状的激波锥，激波前沿的空气密度急剧升高，在航天器前面像一堵移动的墙一样，航天器则在激波锥的尾流中前行。由于和前方静态空气直接接触的是激波锥而不是航天器本身，气动加热主要由激波前沿和前方的静态空气之间的压缩和摩擦产生。如果航天器表面和激波前沿保持一定的距离，气动加热所产生的热量将主要在空气密度较高的激波内传导和耗散，航天器在周围宽厚的边界层保护下，本身承受的热负荷就要小很多。因此，降低航天器热负荷的一个重要途径就是使激波锥前移，尽量远离航天器本体。根据这一发现，亨利 • 艾伦提出航天器的头部应该是钝形，而不是尖锐的。他的研究成果成为航天器再入段气动设计的理论基础。

返回飞行控制

返回的轨迹设计对安全返回起到了极大的作用。返回的轨迹必须尽量缩短穿越大气层的时间，以减少暴露于气动加热的时间和降低累计的加热量；又要尽量降低在大气层的飞行速度，以减少气动加热的速率。这是一个很棘手的问题，只有一个很窄的窗口可以同时兼顾较短的飞行时间和较小的飞行速度。航天飞机装备有减速火箭，但减速火箭的减速作用是有限的，只能将航天飞机的速度降到不足以维持轨道运行的临界速度以下，以完成脱离地球轨道的动作。减速火箭不能对再入时的高速下降过程起到真正的刹车作用。


美国“亚特兰蒂斯”号航天飞机发射升空

航天飞机的着陆过程相当复杂，带来的控制问题也很严峻。现代控制

系统的具体实现包括计算机硬件软件和接口、各种传感器和执行机构。一个成功的控制系统是理论、数据、经验和可靠的硬件软件完美结合的产物，远非一朝一夕可以达成。



美国“发现”号航天飞机着陆时打开减速伞



美国“亚特兰蒂斯”号航天飞机着陆前放下起落架



美国“奋进”号航天飞机降落在肯尼迪航天中心

NO.14 航天飞机需要配备运输机的原因是什么？

航天飞机实际上是一个由轨道器、外储箱和固体助推器组成的往返航天器系统。轨道器是航天飞机的核心部分，是整个航天飞机系统中唯一可载人、可重复使用的部分；外储箱用于装载航天飞机主发动机（液体火箭发动机）的推进剂（液态氧和液态氢），它是一种独立的可以抛弃的装置，这种设计可以减少航天飞机轨道器的体积和重量，否则轨道器会非常庞大；固体助推器的作用是助推，用于补充主发动机推力的不足。

目前，世界上只有美国和苏联制造过航天飞机。美国制造了 5 种型号的航天飞机：“哥伦比亚号”航天飞机、“挑战者”号航天飞机、“发现”号航天飞机、“亚特兰蒂斯”号航天飞机和“奋进”号航天飞机。苏联制造了“暴风雪”号航天飞机，1988 年成功地进行了无人轨道试飞，其后由于苏联解体，计划被终止。美国和苏联两国的航天飞机在设计上区别较大，但都配备了专门的运输机，“飞机背飞机”的场景非常引人瞩目。

航天飞机之所以要配备运输机，主要是因为返回地球后的航天飞机轨道器没有动力，需要通过航天飞机运输机实现转场飞行。航天飞机起飞后，两个固体助推器的燃料先耗尽，并与航天飞机分离。随后，外储箱的燃料也耗尽，并与轨道器分离。最终，进入太空轨道的只有轨道器。轨道器在返航的时候，

依靠空气阻力无动力滑翔回地球，并降落在机场跑道上。由于轨道器没有动力，所以它只有一次降落机会。以美国为例，轨道器会降落在航天飞机的第二降落场——位于美国加利福尼亚州的爱德华兹空军基地，而航天飞机的检修、组装以及发射都是在佛罗里达州的肯尼迪航天中心。因此，对于无动力的轨道器，只能通过航天飞机运输机实现转场飞行。

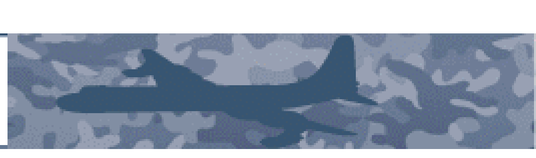
另一方面，航天飞机的气动外形不适合在大气层内飞行，航天飞机进出大气层都会剧烈摩擦产生极高的热量，再入大气层最热的部位能达到1500℃，气动舵面是越简单越高效越好，而且航天飞机的外形是偏重再入大气层段的，并不是侧重大气层内无动力飞行。航天飞机的发动机也是火箭发动机，不适合在大气层内使用。

美国制造的的波音 747-SCA 航天飞机运输机由波音 747 客机改造而来，其长度为 70.5 米，翼展为 59.7 米，自重 144 吨，最大起飞重量可达 322 吨。机背上安装了可与轨道器相连的支架。由于在背负轨道器飞行的过程中，机背上的轨道器会严重影响波音 747-SCA 垂直尾翼的效率，所以在平尾两侧加装了两块端板，以确保充足的航向稳定性。此外，飞机的结构也相应进行了加强。当波音 747-SCA 携带轨道器飞行时，其巡航速度为 700 千米 / 时，航程可达 1850 千米。

苏联制造的安 -225 航天飞机运输机是目前世界上最重、体积最大的飞机，仅生产了 1 架，现归乌克兰所有。该机长度为 84 米，翼展为 88.4 米，最大起飞重量 640 吨，货舱最大载重 250 吨，机身顶部最大载重 200 吨。安 -225 拥有超长的续航能力，在全负载的条件下仍能持续飞行约 2500 千米的距离。



美国波音 747-SCA 运输机背负“发现”号航天飞机





美国波音 747-SCA 运输机背负“亚特兰蒂斯”号航天飞机



美国波音 747-SCA 运输机背负“奋进”号航天飞机



苏联安 -225 运输机背负“暴风雪”号航天飞机



NO.15　研发高超音速飞机需要克服哪些技术难题?

高超音速被视为下一代飞行技术，它一般指飞行速度超过 5 倍音速（约 6000 千米 / 时）以上。高超音速飞机采用的超音速冲压发动机被普遍认为是继螺旋桨和喷气推进之后的第三次动力革命。高超音速飞机除了速度优势外，还具有轨迹复杂的特点，令拦截更加困难。不过，高超音速飞机存在技术门槛高、研制难度大等诸多问题，目前仅有美国和俄罗斯等少数国家展开了相关研究。具体来说，研发超高音速飞机需要克服以下技术难题。

发动机研制困难

以有动力高超音速飞机为例，要将飞机在大气层内的飞行速度提高到 5 倍音速甚至更高，冲压发动机必须利用超音速气流燃烧燃料。虽然超音速冲压发动机进气口形状特殊，能减缓吸入气流的速度，但无法将气流的速度降低至亚音速。因此，带来了一个大难题：让冲压发动机吸入超音速气流，并且在超音速气流中点燃燃料。其难度无异于“在龙卷风中点燃一根火柴”。

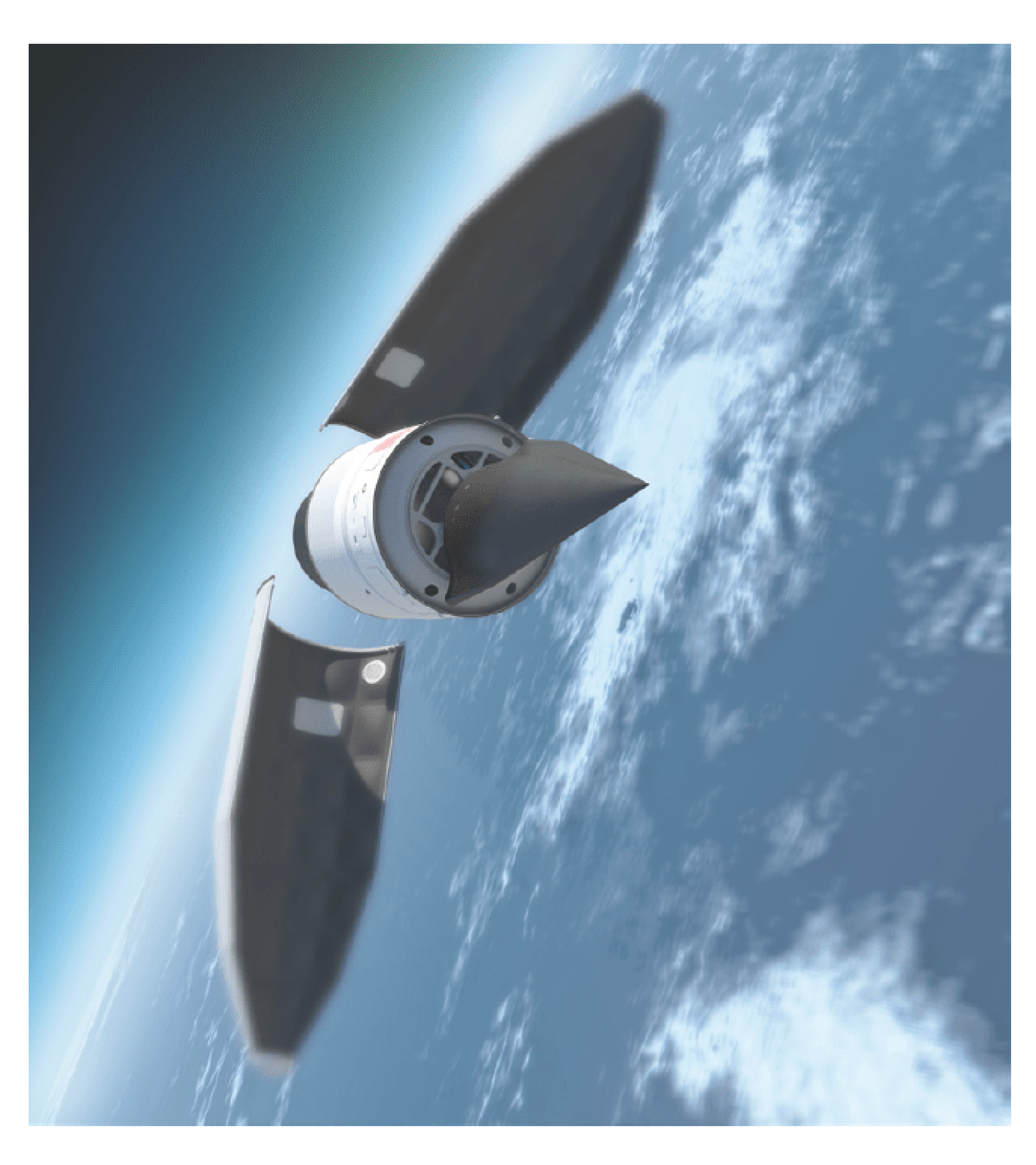
气动控制难度大

目前，人类对高超音速高空飞行过程中复杂气流场的分析与预测以及大空域和宽马赫数下的飞行控制还知之甚少，需要进行大量的高速风洞试验、计算机模拟，更需要进行实际飞行测试，技术难度和研制风险都很大。

以美国 HTV-2 高超音速飞机为例，其飞行速度要经历从 22 倍音速再入，16 倍音速以上速度开始滑翔，最后减速到 4 倍音速的过程；飞行高度也从 60 千米左右开始，最后降低到 20 ~ 30 千米，飞行距离高达 5500 千米，其横向机动能力也有 2000 千米。如何在高超音速飞行条件下进行气动控制，是 HTV-2 高超音速飞机研发过程中的最大难题。

热防护系统和结构设计困难

由于高超音速飞机要进行 5 倍音速以上的飞行，即使飞行高度在空气稀薄的高空，气动加热现象仍然非常严重。因此，为了保证飞行过程中飞机的安全，需要使用耐高温、抗氧化、结构强度高的先进轻质材料，同时要精心设计飞机的气动外形和壳体工艺。此外，高超音速飞机在高温高压条件下的密封和连接技术、耐热隔热透波的一体化材料以及制造工艺，同样是热防护系统要面对的巨大挑战。高超音速飞机在面对外部超高温的同时，内部要保持常温，以保证内部载荷和设备的正常运转。


美国 HTV-2 高超音速飞机与火箭分离想象图

例如，美国 HTV-1 高超音速飞机在研制过程中使用了曲面构型，但由于在壳体制造中对材料应力考虑不足，洛克希德·马丁公司最终跳过 HTV-1 直接研制 HTV-2，并吸取教训使用了易于制造、工艺更成熟和简单的低曲率壳体，但 HTV-2 在第二次飞行试验时仍然因结构解体而失败。之后，洛克希德·马丁公司开始研制 HTV-3X“黑燕”

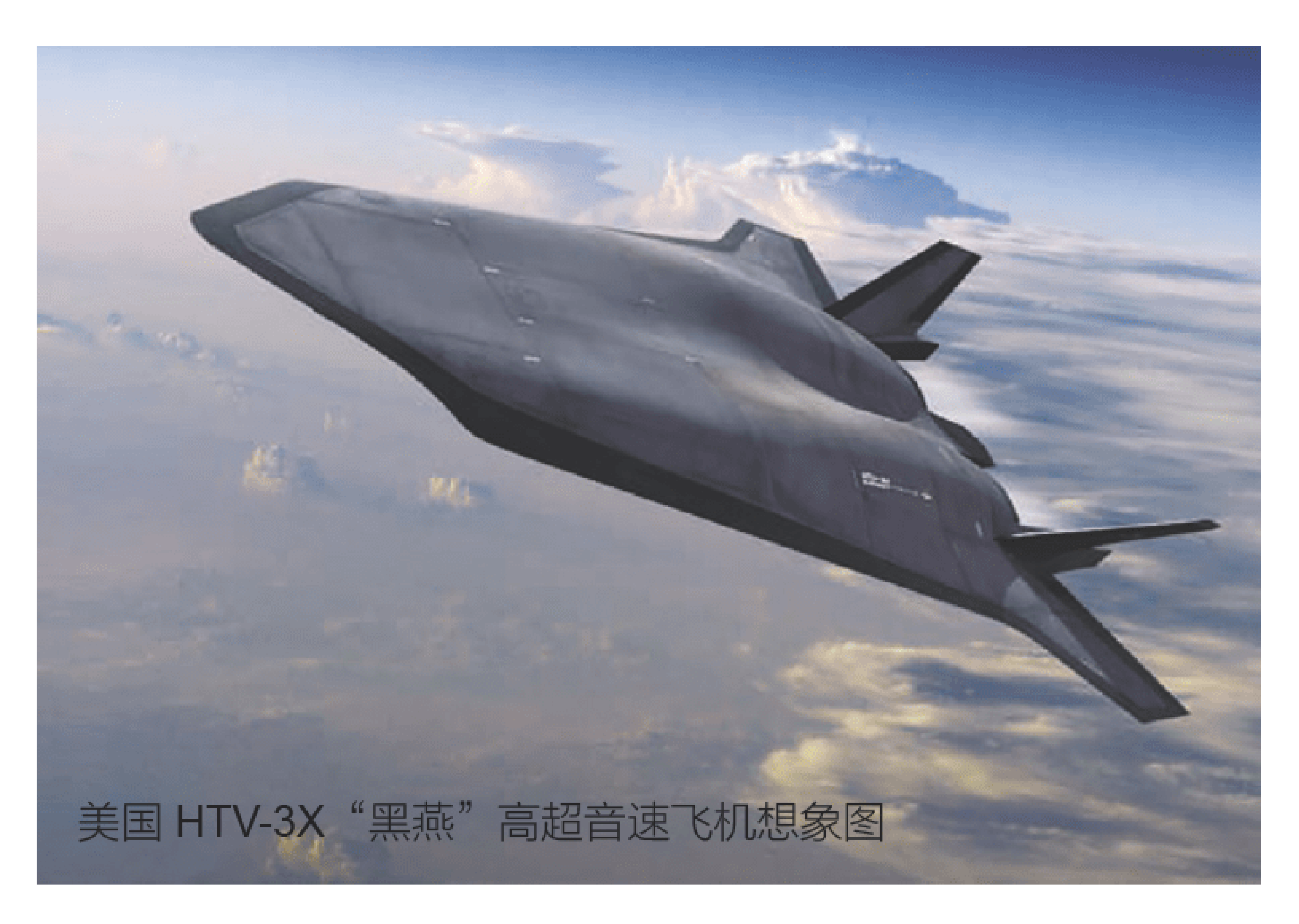
高超音速飞机。

制导、导航和控制技术难度大

制导、导航和控制（Guidance Navigation and Control，GNC）是高超音速飞机完成任务的基本保障，但高超音速飞机面对的GNC技术难度要比传统飞机大得多。目前，人类对高层大气的了解仍十分有限，高超音速飞机在高空稀薄大气中飞行时会出现长时间的黑障，这就限制了地面指令、卫星导航等技术的运用。在高超音速飞行状态下，来自外界或是本身微小的扰动就会被快速放大，从而带来巨大的麻烦，因此飞控传感器和控制系统需要尽快对姿态异常作出反应。此外，GNC系统必须根据飞机先进气动布局和控制机构进行设计，其技术难度可想而知。



美国 HTV-2 高超音速飞机再入大气层想象图



美国 HTV-3X“黑燕”高超音速飞机想象图

NO.16 水上飞机淡出军事舞台的原因是什么？

水上飞机是指能在水面起飞、降落和停泊的飞机。一战期间，水上飞机已经被搭载于巡洋舰吨位以上的舰艇担任侦察与协助舰炮射击的任务，同时还担任反潜、船团护航、沿海巡逻与轰炸等各种任务。虽然水上飞机在一战中没有西线战场上的陆基飞机那么光彩夺目，但经过战争淬炼，完成了从初生到成熟的蜕变，让世界各国认识到它的巨大价值，从而为后来在二战中大放异彩做好了铺垫。

水上飞机的巅峰状态

二战时期，水上飞机的使用与发展达到巅峰状态，美国、英国、德国、日本与意大利等国都有各种军用水上飞机，这些飞机除了继续担负巡逻、护航、侦察、反潜、轰炸与射击标定等任务之外，也会使用鱼雷攻击其他海上目标，或者与敌方水上飞机进行空战等。战争期间，表现最出色的水上飞机当属美国 PBY“卡特琳娜”水上飞机和英国“桑德兰”水上飞机。前者生产数量高达 4000 多架，超过了其他水上飞机的总和，几乎参加过美军所有海战；后者一共生产了 700 多架，在大西洋上空取得了辉煌战绩。这两种水上飞机仅在大西洋反潜战中就击沉了 40 余艘德国潜艇，为同盟国的船队提供了坚实的保障。



美国 PBY“卡特琳娜”水上飞机

二战后期，航空技术再次发生重大跃升，喷气式飞机开始出现。然而，这场革命却让水上飞机走向了末路。水上飞机独特的船身造型使其在气动性能上天生就不如陆基飞机，这个缺陷在动力不足的年代还不太明显，可到了喷气时代，差距瞬间被拉大。对于速度就是生命的战斗机而言，这无疑是致命的。因此水上飞机逐渐退出军用领域，仅有少数国家继续用其担任救援或者反潜等任务。



PBY“卡特琳娜”水上飞机贴近海面飞行



英国“桑德兰”水上飞机

水上飞机没落的原因

水上飞机从刚刚能够进行基本的起降作业，到成为各国海军的主战装备，仅仅用了 20 多年时间，成长速度惊人。其快速发展的原因是多方面的，从主观上来说，水上飞机兼具海空的特性使其顺理成章地成为海军航空兵的首选装备；从客观上来说，军用水上飞机实际上是特定时代背景和技术发展阶段的产物。

首先，受限于当时的航空技术水平，虽然陆基和水上飞机同时发展，但两者的性能基本相近，各有所长，不存在孰优孰劣的问题。例如，水上飞机拥有机体宽大、续航时间长等独特优势，是早期空中预警机等特种机型的首选。对于高度追求实用化的军队来说，自然不会选择陆基飞机。另外，二战时期航空母舰发展比较初级，舰载战斗机的性能受限，而水上飞机对载舰的技术要求相对较低。

其次，陆基飞机受限于使用条件。陆基飞机发展初期，陆地机场的数量非常少而且条件较差，这大大限制了陆基飞机的活动范围和应用场所，毕竟当时的飞机航程较短。反观水上飞机，只要有一定面积的江河湖海都能成为起降场所，因此可执行任务的范围要广泛得多。而两次世界大战正处于现代海战的成熟期和变革期，各国都在追求更新更强的海战装备，水上飞机自然受到青睐。


俄罗斯别 -200“牵牛星”水上飞机

纵观两次世界大战，水上飞机的作用实质上类似于现在的舰载直升机，能够随时在海上固定地域进行作业，某些条件下甚至比悬停在半空的直升机效果更好。而舰载直升机的蓬勃兴起，正是水上飞机逐渐退出军事舞台的重要原因之一。

NO.17 喷气式战斗机的分代标准是什么？

战斗机是一种主要用于与其他飞机作战的军用飞机，具有体积小、飞行速度快、机动性强等特点，在现代战争中起着举足轻重的作用。20 世纪 40 年代后期，采用喷气式发动机的战斗机获得了较大发展，不断涌现出更新更强的战斗机。国外大致将喷气式战斗机的发展分成了 5 代，具体分代标准如下。

第一代战斗机

第一代战斗机是指首批采用喷气式发动机的战斗机，其出现时间约为 1944 ～ 1953 年。第一代战斗机普遍采用后掠机翼，装有带加力燃烧室的涡轮喷气发动机。飞机的电子设备还非常简陋，主要是通信电台、高度表和无线电罗盘以及简单的敌我识别装置。武器装置以大口径航炮为主，后期型可以挂装第一代空对空导弹。飞机的火控系统为简单的光学—机电式瞄准具，后期安装了第一代雷达。第一代战斗机的飞行速度比螺旋桨飞机快，航程则受到发动机效率的影响而较差，发动机的寿命受到材料与设计的影响，也不如当时最好的活塞式发动机。第一代战斗机的典型代表有 F-80（美国）、F-86（美国）、米格 -15（苏联）、米格 -17（苏联）、“吸血鬼”（英国）、Me 262（德国）等。

第二代战斗机

第二代战斗机主要是指 20 世纪 50 年代至 60 年代研制的战斗机。由于采用了许多新技术，第二代战斗机的作战能力有了大幅提高，开始使用导弹进行视距外攻击，雷达也作为标准配置用于确定敌方攻击目标。新的飞机设计也层出不穷，如后掠翼、三角翼、变后掠翼以及按面积律设计的机身等，采用后掠翼的生产型战斗机飞行速度终于突破了音障。这一时期的一个重要特点是出现了战斗轰炸机和截击机。截击机的发展主要依赖于导弹能完全替代机炮、空战将在视距外进行的特点，因而截击机具有较大的载弹量和强大



的雷达，牺牲了速度、爬升率等敏捷性。第二代战斗机的典型代表有F-104（美国）、F-105（美国）、米格-21（苏联）、米格-23（苏联）、“幻影Ⅲ”（法国）等。



美国F-86“佩刀”战斗机



法国“幻影Ⅲ”战斗机

第三代战斗机

第三代战斗机主要是指 20 世纪 60 年代至 70 年代研制的战斗机。这个时期航空技术发展日趋成熟，战斗机作战能力的发展主要是通过引入性能更好的导弹、雷达和其他航电系统来获得。基于大量导弹的实战使用经验，设计人员重新肯定了近距格斗在空战中的地位，机炮再次成为标配，而机动性也再次成为优先考虑的设计因素。航空技术发展在显著提高战斗机能力的同时，使其研制和使用成本也显著增加。军方早先曾有各种专门用途的战斗机，如夜间战斗机、重型战斗机和攻击战斗机，面对战斗机的成本暴涨，军方开始将战斗机的任务合并。第三代战斗机的典型代表有 F-4（美国）、F-111（美国）、米格 -25（苏联）、苏 -15（苏联）、“鹞”式（英国）等。


美国 F-111“土豚”战斗轰炸机

第四代战斗机

第四代战斗机主要是指 20 世纪 70 年代至 90 年代研制的战斗机。国际上常用的第四代战斗机标准为“4S”，即 Stealth（隐身）、Super cruise（超音速巡航）、Super maneuverable（超机动性）、Sensor（先进传感器）。除了多用途和精密航电的发展方向大致不变以外，第四代战斗机放弃对高速、高翼负荷的设计追求，转而扩展飞机在不同高度与速度下的运动性，运用新材料与技术开发的大推力涡扇发动机开始广泛运用于第四代战斗机，取代过去的涡喷发动机。第四代战斗机的典型代表有 F-14（美国）、F-15（美国）、F-16（美国）、F/A-18（美国）、米格 -29（苏联）、米格 -31（苏联）、苏 -27（苏联）、“狂风”（英国）、“幻影 2000”（法国）等。


苏联米格-29“支点”战斗机

小贴士

随着航空技术的快速发展，还可划分出一类第四代半战机。第四代半战斗机主要是现役的最新战斗机，其特点是气动技术没有任何新进展，而是随着 20 世纪 80 年代和 90 年代集成芯片和半导体技术的迅猛发展，航电和其他飞行电子系统进行了多项改进，并采用了有限的隐身构型。第四代半战斗机的典型代表有 F/A-18E/F（美国）、F-15E（美国）、米格-35（俄罗斯）、“台风”（欧洲）、JAS 39（瑞典）等。


俄罗斯苏-57战斗机

第五代战斗机

第五代战斗机是目前研制的最先进的一代战斗机，最大的特点就是低可侦测性技术的全面运用，并具备高机动性、先进航电系统、高度集成计算机网络以及优异的战场态势感知能力。目前，已经正式服役的第五代战斗机较少，仅有 F-22（美国）和 F-35（美国）等。俄罗斯第五代战斗机苏 -57 预计于 2019 年开始服役。



NO.18 玻璃座舱如何提升战斗机的作战效率?

在 20 世纪 40 年代第一代战斗机刚问世时，座舱内只有简单、耐用、廉价的航电设备。当飞行员执行低空高速任务时，完全依赖这些设备提供飞行和导航信息，但它们发挥的作用相当有限。20 世纪 50 年代第二代战斗机问世后，这些缺点就更加突出了，随着机载系统和仪表日益复杂，飞行员必须花费较多的时间低头查看，不仅影响掌握战术态势的能力，更会危及低空飞行的安全性。


美国第二代战斗机 F-104“星战”的座舱

20 世纪 70 年代中期，战斗机座舱内的仪表和开关已经超过上百个，飞行员需要随时注意一大堆指针、符号，手忙脚乱的情况让人担心。美国主要的航空企业和国家航空航天局共同启动了座舱多功能显示器研究计划，把基本的飞机系统、飞行和战斗数据综合成显示器上清晰易懂的图形和符号，最后出现了完整的“玻璃座舱”（Glass cockpit）概念。



美国 F-15“鹰”式战斗机座舱内复杂的仪表

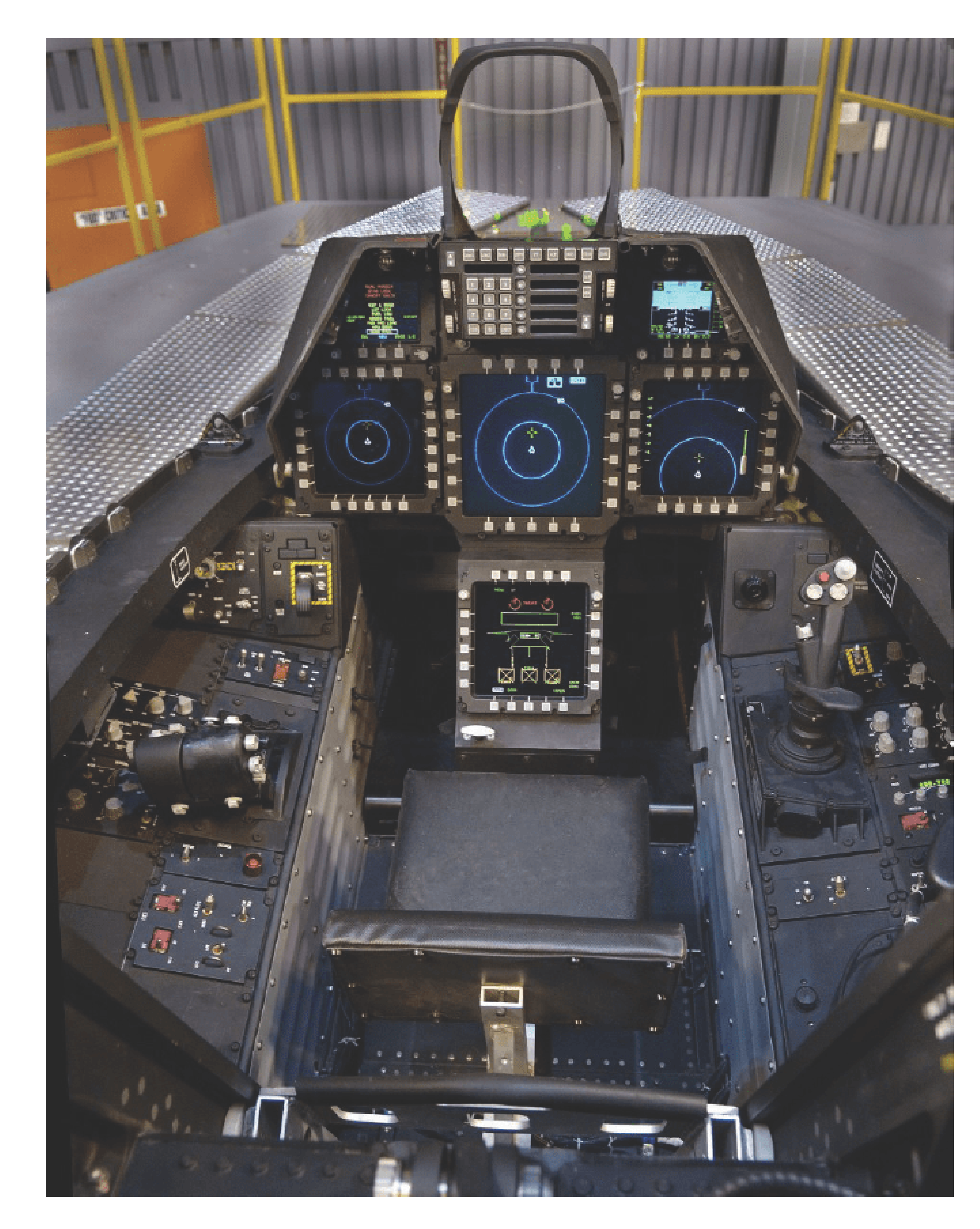

美国 F-16“战隼”战斗机飞行员在玻璃座舱中观察外部情况

时至今日，玻璃座舱已经是战斗机的标准设备，作为一种现代化的显示

系统，它使用多功能显示器取代了几乎所有的传统仪表。老式座舱里繁多的样式不同、功能各异的机电指针仪表大多被取消，仅留下少数几个（如罗盘）供紧急备用。玻璃座舱仪表板上的大型计算机显示器不仅能显示虚拟仪表，还能根据飞行员的需要显示其他功能，如飞行规划、武器控制等，能大大减轻飞行员的工作负荷，因此玻璃座舱也被誉为战斗机座舱的革命性发展。

玻璃座舱内的重要设备包括抬头显示器、夜视系统、先进综合头盔系统、战术态势显示器等。

与老式座舱相比，玻璃座舱使飞行员无须环顾座舱四周的仪表，消化各仪表的片断信息，就能获知周围空域敌情以及机载传感器和武器的重要信息。



美国 F-22“猛禽”战斗机的玻璃座舱

从航空业界全盘接受多功能显示器来看，就能知道玻璃座舱有多成功。这是因为飞行员对飞机和战术态势越了解，飞行就越安全，也越有效率。以图形方式显示的关键仪表，如高度计、姿态仪、速度表，不但容易阅读，维护成本也不像传统仪表那样昂贵。玻璃座舱的紧急备用和保障性能良好、重量轻、电力需求也比机电仪表少。

事实上，由于指针仪表的读值一目了然，玻璃座舱显示器大多忠实还原了它们的外观。所以就人机工程而言，玻璃座舱的主要优点不在于显示方式的改变，而在于在需要时才显示飞行和战斗信息。显示系统在飞行员要求时才会提供警告或警告信息，让飞行员的信息负荷大幅降低，飞行员仅需注意最重要的信息就行了。



NO.19 制造战斗机座舱盖的原材料是不是玻璃?

玻璃座舱是现代化战斗机的标准设备，但是座舱盖并不是玻璃制品，而是用塑料制成的，这主要是由座舱盖的性能要求所决定的。

座舱盖的必备特性

第一，透光性。座舱盖要方便飞行员观察座舱外部环境和机务人员观察舱内情形，所以必须具有良好的透光性。先进战斗机的座舱盖透光率可以达到 70% ~ 80%，甚至达到 90%。

第二，阻光性。座舱盖在允许可见光进入座舱的同时，还要防止红外线和紫外线的进入。这一方面是为了保护高空强烈紫外线对飞行员眼睛和皮肤的伤害，另一方面是因为这两种光波对座舱盖和座舱内的很多非金属材料都有加速老化的作用，因此要尽可能挡在外面。

第三，防撞性。飞行中，座舱盖如果遇到飞鸟撞击穿透，会对飞行员的安全构成致命威胁，因此必须具有一定的强度。一般规定，战斗机在最大速度飞行时被 1.8 千克质量的鸟类撞击，应当做到无穿透性损害。

第四，耐温性。战斗机在高速飞行、特别是超音速飞行时，高速气流对飞机表面的摩擦，会导致温度上升。因此座舱盖应当具有合理的耐温性能。

第五，保温性。在高空低温环境下，为了保持座舱内部的合理温度，同时防止低温在座舱盖表面形成雾膜或冰层，座舱盖的风挡上还会有成对出现的金属丝作为加热除雾的电极。



美国 F-15“鹰”式战斗机开启座舱盖

第六，隐身性。战斗机发展到第四代，对座舱盖又提出了一个特殊的要求，就是隐身需求。具体来说，就是阻挡和吸收雷达波的进入和射出座舱。座舱内是空腔结构，各个部件是很大的反射源。外部电磁波摄入座舱后，很容易经过多次反射后再多次射出座舱，形成腔体反射效应（类似角反射器），大大增加了战机的雷达反射截面积。另外，座舱内有多种设备会主动发射电磁波，这些电磁波不但具有暴露飞机方位的信号特征，通信电波甚至有可能暴露战斗机作战信息，从而不仅增加了战斗机的等效反射面积，还有情报泄密的可能。

除了上述特性，座舱盖还要耐磨，重量轻，并有一定的经济寿命。


美国海军勤务人员正在清洁 F-14“雄猫”战斗机的座舱盖


英国“台风”战斗机开启座舱盖

座舱盖的主要材料

显然，上述要求是普通的玻璃材料所无法满足的。以美国战斗机为例，其座舱盖采用的材料主要是两种树脂材料，再加上金属氧化膜。

第一种是丙烯酸酯类材料。丙烯酸酯具有良好的光学性能，其透光率高达 90%，接近用于高级光学仪器的水晶。同时，丙烯酸酯的重量较轻，仅是水晶和传统无机玻璃的 50% 左右，因此这种材料的座舱盖，比老式飞机的无机玻璃座舱盖要薄很多。另外，丙烯酸酯耐候性好，抗老化，装备之后不会出现传统玻璃的银纹现象，其颜色也可以保持长期不变。丙烯酸酯的加工性也很好，能方便地加工成纤维、片材、薄膜、型材、管材等。因此，丙烯酸酯类材料经常被用来与钢化玻璃多层复合后，用于民航客机的风挡和侧窗。但是丙烯酸酯的缺点也十分明显：耐冲击性和耐温性差。因此，用于亚音速客机舷窗问题不大，但用于高速战斗机的座舱盖材料，还是存在不足。

第二种是聚碳酸酯材料。它是分子链中含有碳酸酯基的一种高分子聚合物，是几乎无色的玻璃态的无定形聚合物，具有良好的光学性，聚碳酸酯薄膜的透光率超过 90%。与丙烯酸酯不同，聚碳酸酯的热变形温度大约为 130℃ ~ 140℃。同时，聚碳酸酯具有高强度及弹性系数、高冲击强度，具有类似有色金属的强度性能，并且有很高的韧性。由于聚碳酸酯具有高透光率、高折射率、高抗冲性、尺寸稳定性及易加工成型等特点，因此在光学领域、航空航天领域大显身手。不过，在高冲击强度和高变形温度的优点弥补了丙烯酸酯缺点的同时，聚碳酸酯也有自身的不足。聚碳酸酯长期暴露于紫外线中会发黄，而且耐磨性差，易溶于有机溶剂，价格也比丙烯酸酯贵 50% ~ 100%。

由于丙烯酸酯和聚碳酸酯各有千秋，所以美国人将环境适应性更好的丙烯酸酯作为内外两层，而将抗候性差的聚碳酸酯作为中间夹层，经过这样多层复合形成了三明治一般的有机玻璃座舱盖。为了切断对人体有害的电子辐射、紫外线及远红外线，座舱盖表面又用磁控溅射法镀了一层金属薄膜——氧化铟锡膜，再加上其他强化增透膜和保护层，隐身座舱盖就大功告成了。

与美国战斗机不同，俄罗斯战斗机的座舱盖采用了丙烯酸酯的一个分支材料——多层复合的聚氟代丙烯酸酯，其最大特点是耐高温超过 180℃，比 F-22 战斗机的聚碳酸酯还要高 40℃，非常适合高速飞行。不过，这种材料的硬度小，耐磨性差，长期日照会改变材料的性质。而且材料中的氟有毒，环境友好性差。因此，俄罗斯另辟蹊径，用美国淘汰的无机玻璃与聚氟代丙烯酸酯复合，大大提升了耐磨性，而且降低了成本。不过，这种做法使座舱盖

的脆性变高、韧性变低，因此不得不做得更加厚重。

小贴士

早期低速螺旋桨时代的座舱盖采用无机玻璃制成，缺点较多。无机玻璃脆而易碎、工艺性能较差；很难制成复杂曲面，只能用三片式平面风挡，不能加工成更符合空气动力学特性、阻力更小的圆弧形风挡；而且密度大，重量大，不利于飞机减重。



美国 F-22“猛禽”战斗机的座舱盖氧化铟锡膜在阳光下呈金色



F-22“猛禽”战斗机座舱盖特写



F-22“猛禽”战斗机开启座舱盖



NO.20 没有雨刮器的战斗机如何清除座舱盖的雨雾?

雨刮器是汽车、火车等地面载具的标准配置。在雨雾天气时，雨刮器能够刮走落在玻璃上的水珠，防止它们遮挡驾驶员的视线。为了解决雨雾遮挡飞行员视线的问题，民航客机、直升机及运输机等低速飞机出于成本的考虑，一般也会安装一组雨刮器，这是因为在低速时雨刮器并不会对飞行性能造成明显影响，而且雨刮器十分便宜。民航客机前向的两块风挡玻璃面积较大且较为平直，安装雨刮器也比较容易。另外，在雨势较大时，民航客机会选择停飞。

按理来说，战斗机同样需要安装雨刮器，以免雨雾影响作战行动。然而，真实情况却是绝大多数战斗机都没有安装雨刮器。究其原因，一是因为战斗机为了保证飞行员的全向视野而采用了气泡式座舱盖，或者考虑到气动阻力采用了外形流畅的座舱盖，无论是整体型还是隔框型，座舱盖大都呈圆弧状，很难安装雨刷器；二是因为战斗机的飞行速度很快，飞行时的空气阻力较大，这对安装雨刮器十分不利。雨刮器在高速时会对战斗机性能造成很恶劣的影响。

当然了，并不是所有的战斗机都没有雨刮器，英国的“鹞”式垂直起降战斗机就是个例外，该机座舱盖正前方专门隔出一小块区域安装雨刮器，这样一来就破坏了飞行员的前向视野，可以说是得不偿失。

事实上，战斗机即便不安装雨刮器也能有效解决雨雾阻碍飞行员视野的问题。现代战斗机主要依靠喷涂除雨液、采用风挡玻璃厌水涂层、风挡玻璃电加热以及超声波除雨这四种方式清除雨雾。

防雨液的主要成分是酒精，它不仅可以起到增大水的表面张力、加速雨滴滑落速度的作用，在除霜、除雾以及防冻方面都有很广泛的用途，这种除雨措施主要见于苏联第二代战斗机。

厌水涂层是一种对雨水有着很强排斥作用、不吸附雨水的化学涂层，这种涂层可以使滴落在风挡玻璃表面的雨水以珠状从风挡玻璃表面快速滚落，而无法附着在风挡玻璃上影响飞行员的视线。

电加热除雨技术在很多汽车后风挡玻璃上就有，部分高档汽车前风挡玻璃也配备有这种除雨技术。战斗机前风挡玻璃除雨技术和汽车除雨技术类似，都是通过对风挡玻璃进行加热已消除除雨水。

目前最先进的风挡玻璃除雨技术当属超声波除雨技术，这种技术通过在风挡玻璃下方安置一个高频超声波发生器快速清除附着在风挡玻璃表面的雨水、尘埃等附着物。


装有雨刮器的美国 UH-60“黑鹰”直升机



装有雨刮器的英国“鹞”式战斗机



未安装雨刮器的 F-35“闪电 Ⅱ ”战斗机



未安装雨刮器的 MiG-35“支点 F”战斗机



NO.21　头盔显示器与头盔瞄准器相比有何优点？

飞行员头盔原本是一种简单的防护装备，但在结合了头部跟踪技术和符号显示系统后正日益变为飞行员获取信息的主要方式，从而大幅提高了飞行员的态势感知能力。从头盔瞄准器到头盔显示器，飞行员的作战效率发生了天翻地覆的变化。

头盔瞄准器的诞生

从空战诞生之日开始，飞行员的态势感知就对空战胜负和自身生存至关重要。在最初的日子里，摆在飞行员面前的只有转速表、高度表和罗盘，而现代飞行员在空战中不仅要时刻注意座舱外的动向、还要不时低头查看座舱仪表和显示器。

随着技术的发展，座舱仪表和显示器显示的信息也随之增多，越来越多的信息导致了飞行员无所适从，无法快速找到自己需要的信息。因此，简化和帮助飞行员接受信息成为战斗机人机界面的一个重要设计目标，必须先使用机载计算机对信息进行简化和分类，再呈现给飞行员。此外，随着一系列

大离轴角近距空对空导弹和新型传感器的出现，如何增大这类武器的发射区也成为亟待解决的问题。

要解决这些问题，最直接的想法就是把抬头显示器综合到飞行员头盔内，其结果就是头盔瞄准器（Helmet Mounted Sight）。自 20 世纪 70 年代中期以来，军用直升机和战斗机已普遍装备了头盔瞄准器。战斗机的头盔瞄准器一开始非常简陋，仅能用于控制红外制导空对空导弹的瞄准。导弹引导头能根据飞行员的头部运动快速对准目标，实现大离轴角发射，不再需要飞行员努力机动把机鼻对准目标。南非空军的“幻影 F1”战斗机飞行员率先在实战中使用头盔瞄准器，并取得良好效果。

20 世纪 70 年代，美国霍尼韦尔公司也实机测试了视觉目标获取系统（VTAS），但未被美国空军采用。到 20 世纪 80 年代，苏联米格 -29“支点”战斗机和苏 -27“侧卫”战斗机引领了头盔瞄准器技术的一场革命。这两种战斗机整合了头盔瞄准器和红外搜索跟踪系统，让 R-73 红外制导空对空导弹具有了强大的近距作战能力。这是头盔瞄准器发展史上的一个分水岭，迫使北约国家开始正视差距，认真对待头盔瞄准器的发展。



米格 -29“支点”战斗机飞行员的头盔瞄准器

头盔显示器的优势

头盔瞄准器有许多优点，但它的亮度控制不佳，且无法显示前视红外及微光电视的影像。飞行员在执行夜间任务时仍要靠视场有限的抬头显示器看清外界，在这些因素影响下，头盔瞄准器开始进化为头盔显示器（Helmet Mounted Display）。

20 世纪 90 年代初，以


佩戴 DASH 头盔的飞行员

色列埃尔比特公司研制出与“怪蛇Ⅳ”空对空导弹配套的“显示和瞄准头盔”（DASH）。美国在这种头盔的基础上于20世纪90年代后期研制出“联合头盔提示系统”（JHMCS），将其与新一代近距空对空导弹AIM-9X配套，被统称为大离轴角系统（HOBS）。JHMCS和AIM-9X组合首先装备了F-15C战斗机。


JHMCS头盔的佩戴效果

DASH和JHMCS两种头盔增加了符号显示功能，除了用于控制导弹引导头和瞄准吊舱传感器外，JHMCS在后来又增添了把关键飞行数据投射在遮光镜上的功能，成为真正的头盔显示器。因此从理论上来说，可以把关键飞行数据和目标数据都从抬头显示器上移除，统统投射在头盔显示器的遮光镜上，让飞行员在空战中能更好地使用空对空武器攻击敌机，不再需要操作飞机把机鼻对准目标，然后通过抬头显示器瞄准。

经过多年发展后，头盔显示器不仅能够为飞行员提供“先敌发射、先敌攻击”的大离轴攻击能力，还使他们在做大过载机动时也能控制机载武器和传感器的瞄准。头盔显示器的遮光镜不仅能显示瞄准符号和飞行参数，还能显示视频和前视红外图像。

新一代头盔显示器强调在任务各阶段都能帮助飞行员提高战斗力，设计目标是使飞行员、飞机、机载系统间进行更有效率的沟通，让飞行员获得并维持态势感知，进而提升任务效益。在引进人工智能和光纤传输技术后，预计未来头盔显示器会有革命性的发展，头盔显示器和各种传感器之间的综合程度会更好，并有更高的资料更新率以及智能型的信息显示。同样目前飞行员在转动头部时出现的图像迟滞现象，未来应该都会完全克服。


美国 F-16“战隼”战斗机飞行员的“蝎子”头盔显示器



NO.22 军用飞机的弹射座椅能不能完全保证飞行员的安全?

自飞机诞生以来，工程师们就在思考飞行安全的问题。一战中，各国开始为飞行员配备降落伞。随着飞机速度增大，飞行员爬出座舱跳伞日益困难。二战时，战斗机的时速已提高到 600 千米以上，飞行员跳伞要冒着被强风吹倒或被刮撞到飞机尾翼上的危险。德国首先开始研究可使飞行员弹出机舱的座椅。

1938 年，德国曾试验过橡筋动力的弹射座椅，但未达到实用要求。后来又研制了以压缩空气为动力的弹射座椅，最早配置在 He 219 夜间战斗机上，利用推进器抛开舱盖，将人和座椅整体弹出，待人椅分离后打开伞具。这种弹射座椅的性能还不够理想，于是德国转而研制以火药为动力的弹射座椅，将改装后的高射炮药装置在飞机座椅上，利用弹药爆炸的力量将飞行员和座椅一起弹出机舱。1940 年，德国进行了地面试验，成功地把试验人员从地面的飞机里弹射到空中。后来又经过飞行弹射试验，达到了实用要求，于二战结束前装备了空军。

战后，以火药为动力的弹射座椅在不断改进，到 20 世纪 50 年代，已在喷气式飞机普遍使用。为解决低空救生问题，美、英等国在 20 世纪 50 年代又相继研制出火箭助推的组合动力弹射座椅。20 世纪 60 年代，为使高空高速飞行中的飞行员跳伞时免受高速、低温、缺氧等因素的伤害，美、苏两国在弹射座椅的基础上，又首先研制成功密闭和半密闭式的弹射救生系统。20

世纪 70 年代初，美国试验了可飞弹射救生系统，座椅离机后变为可控飞行器，飞行一定距离后，人椅分离，开伞降落。

时至今日，弹射座椅已经发展到第四代。新一代弹射座椅主要解决了两个问题：一是利用可控推力技术和可控飞行技术，实现战斗机复杂状态的安全弹射，这是大气层内全状态弹射座椅的最后一个里程碑；二是扩大弹射的速度包线，实现超音速飞行的弹射保障。由于三维推力矢量可控和飞行可控技术，自适应救生能力和生命威胁逻辑控制等关键点还没有完全解决，所以第四代弹射座椅还在研发中。

作为重要逃生装置的弹射座椅，在飞机的整个寿命周期中可能从不启用，或者仅出场数秒，虽然只使用一次，但对于飞行员而言，弹射座椅却是不可或缺的生命守护神。不过，虽然现代弹射座椅已经非常先进，但也无法 100% 地保证飞行员的生命安全。

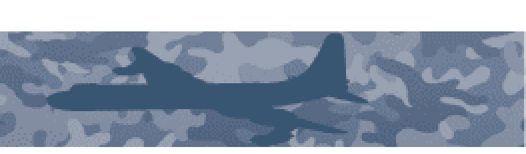
事实上，每当事故发生，跳伞还是挽救飞机都需要飞行员当机立断，生死抉择往往不到 1 秒钟。双座飞机的弹射更为复杂，为防止空中相撞，一般先弹出后座飞行员，这样留给前座飞行员的时间更为短暂。异常飞行时，飞机巨大的过载也会影响弹射操作，飞行员甚至会产生黑视、丧失意识。在这种情况下，即使是逃生率最高的弹射座椅也很难保证安全。

欧洲“台风”战斗机的马丁•贝克 Mk 16 弹射座椅

在实际应用中，飞行速度越快，弹射成功率越低。在密集编队飞行中，弹射的姿态、角度甚至风速都关乎逃生成败。二战中，就不乏离机成功后撞上尾翼的飞行员。高空高速弹射后，飞行员遭遇的气流侵袭不亚于“迎面撞车”，即便跳伞成功后，还要面临在陌生地域实施空降的问题。所以说，弹射座椅并非万无一失。

小贴士

当飞行员在飞行中受到比较大的正加速度作用时，眼睛会感到发黑，看东西模模糊糊，甚至什么也看不见，这就是黑视。黑视也是晕厥的先兆，对飞行安全危害较大。





正在测试的马丁•贝克弹射座椅



美国 F-35“闪电Ⅱ”战斗机配套的弹射座椅正在测试

 NO.23 电传操纵系统与机械操纵系统相比有何优势？

作为一种先进的电子飞行控制系统，工业上普遍将电传操纵系统定义为一种利用反馈控制原理，将飞行器的运动作为受控参数的电子飞行控制系统。

电传操纵系统的组成

典型的电传操纵系统是由传感器组（各种陀螺、加速度计等惯性测量器

件和迎角传感器等大气测量器件）、输入设备、飞行控制计算机、舵机和电气传输线路组成。电传操纵系统一般按照部件的电器特性分类。采用了模拟传感器、模拟式计算机和输入输出设备的系统被称之为模拟式电传操纵系统;采用了数字式传感器、数字计算机和输入输出设备的系统被称之为全数字式电传操纵系统。实际上现在大都使用模拟式传感器、数字式计算机的半数字式电传操纵系统。

由于电传操纵系统没有机械通道，结构简单，体积小，重量轻，不存在机械传动装置的摩擦、间隙、滞后等非线性不良影响，能显著提高飞机的操作性能。由于没有机械通道，对飞行控制系统可靠性要求很高。

目前，提高电传操纵系统可靠性的主要措施是采用余度备份系统。主要的传感器和飞行控制计算机都要留有几组完全相同且同时工作的系统，通过专门的余度管理计算机进行最后的输出。一般现代电传操纵系统都是四余度系统，也有少数三余度。以四余度系统为例，系统由四套完全相同的单通道电传操纵系统组合而成，保证其可靠性不低于机械操纵系统。

电传操纵系统的优点

电传操纵系统的可靠性比传统的机械操纵系统好得多，系统的能力产生了质的飞跃。具体来说，电传操纵系统主要有以下几个优点。

（1）放宽静稳定度。现代战斗机的速度范围很广，尤其飞机从亚音速到超音速飞行时飞机的焦点急剧向后移动。为了确保低速起飞与着陆有足够的纵向静稳定度，就必然使高速飞行时的纵向静稳定度过大，其结果是使飞机的机动能力大为降低，同时，飞机的配平阻力增加，持续盘旋过载能力降低。电传操纵系统的发展，将飞机设计成在低速飞行时具有一定的纵向静不稳定度，就可以使高速状态的静稳定度保持在比较小的量值，从而可以显著改善飞机机动性，减小配平阻力以及飞机的敏捷性。

（2）改善飞机飞行品质。第二代飞机的主要操纵系统是由拉杆与摇臂等机械部件构成，所以飞机的飞行品质就主要取决于飞机的气动布局。以往的设计主要是根据飞机的战术性能来确定气动外形，只能根据已选定的气动外形与总体布局去确定飞机的飞行性能，所以说过去的飞机很少有能全面满足规范要求的。虽然增稳系统、控制增稳系统兼顾了飞机的稳定性和操纵性，但系统的舵面权限比较小，因此它的作用是很有限的。电传操纵系统是全权限，飞行员的指令与反馈通道信号综合形成主通道控制指令，综合设计反馈通道与主通道可以很好地协调飞机操纵性与稳定性，此外，反馈通道与主通

道的增益可以随迎角、马赫数和动压而调参，这就能在全包线范围内，不管什么高度和速度，基本上满足一级品质要求，这是以往的飞机所不能达到的。

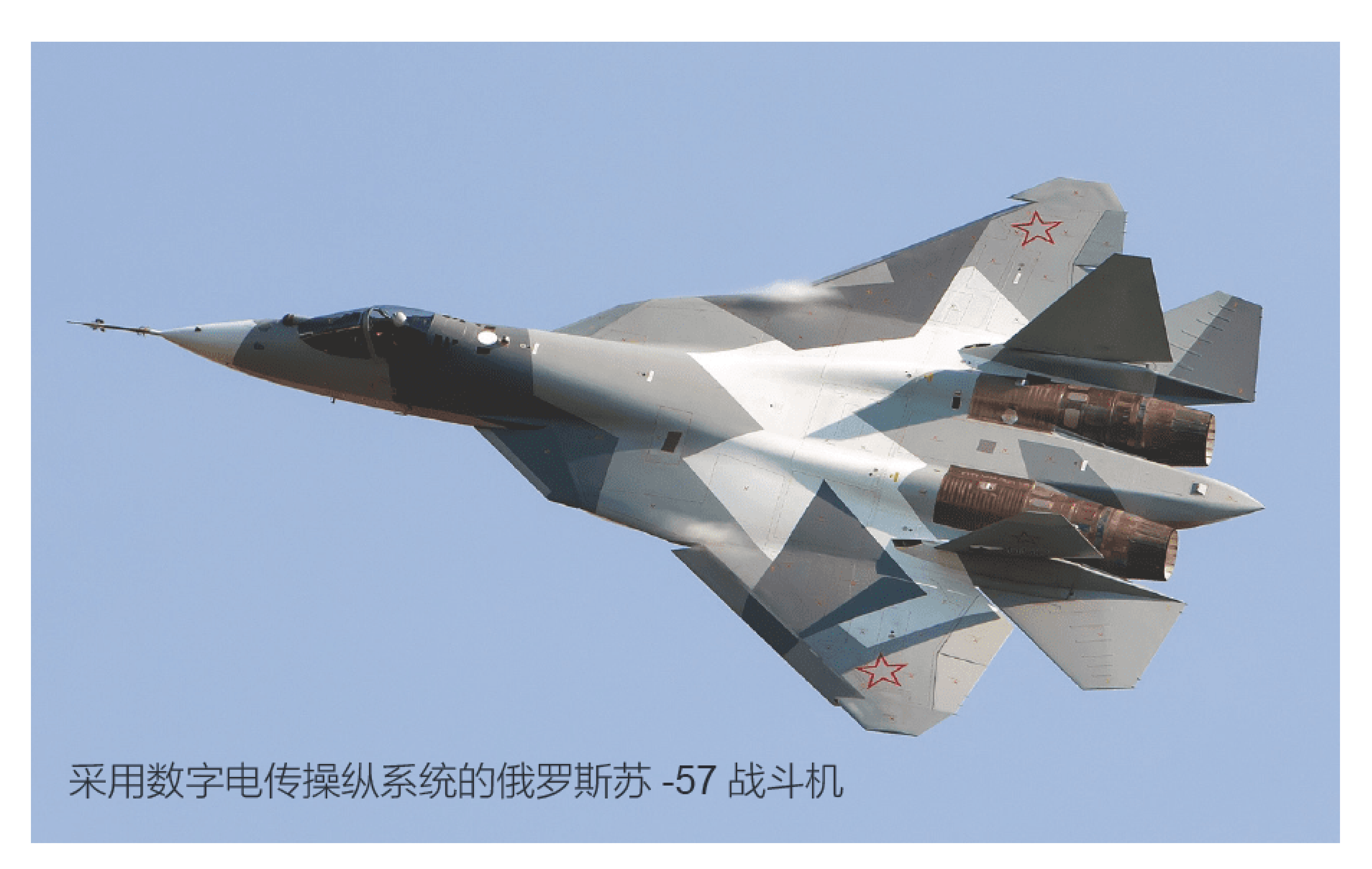
（3）迎角限制器。对于非电传飞机，当飞行在低速状态时，飞行员要很谨慎地去操纵飞机，使之不超过危险的迎角，这往往使飞机的机动性能得不到最大限度的发挥。对于电传飞机，可以根据飞机的大迎角气动力特性确定出最大使用迎角，然后设计迎角限制器，使飞行员在接近最大迎角区域飞行并作最大组合操纵也不会超出最大使用迎角。这样，飞行员可以毫无顾虑地操纵飞机，从而可以最大限度地发挥飞机的机动能力。

此外，电传操纵系统还具有自动配平、自动协调滚转角度、边界控制、提高战伤生存力等优点，电传操纵系统由于没有机械系统，重量轻、体积小，操纵中没有因摩擦引起的滞后，可减少维修量，而且还可以通过阵风减载、机动载荷控制、机翼和机身结构振型的阻尼及颤振抑制等主动控制技术提高飞机的性能。



采用机械操纵系统的美国二战名机 P-51“野马”战斗机


采用三余度数字电传操纵系统的美国 F-22“猛禽”战斗机


采用数字电传操纵系统的俄罗斯苏 -57 战斗机


采用模拟式电传操纵系统的俄罗斯苏 -27“侧卫”战斗机

NO.24　军用飞机是否会像民航飞机一样安装“黑匣子”？

民航飞机发生空难事故后，飞机往往解体，甚至被烈火烧毁。人们到现场救援的时候，总是会寻找一个东西，那就是被誉为“空难见证人”的“黑匣子”。它可以给调查人员提供证据，帮助他们了解事故的真相。那么，军用飞机有没有安装黑匣子呢？

黑匣子是飞机专用的电子记录设备之一，里面装有飞行数据记录器（Flight Data Recorder）和驾驶舱话音记录器（Cockpit Voice Recorder），飞机各机械部位和电子仪器仪表都装有传感器与之相连。飞机通电后，黑匣子将自动启动工作，记录飞机相关系统运行和状态信息、飞行人员操作信息以及机上相关音视频信息，不受人员控制。黑匣子能把飞机停止工作或失事坠毁前半小时的有关技术参数和驾驶舱内的声音记录下来，需要时把所记录的参数重新放出来，供飞行实验、事故分析之用。

事实上，最早利用黑匣子的就是军用飞机。1908 年，美国发生了第一起军用飞机事故。以后，随着飞行事故的增加，迫切需要有一种研究事故发生原因的仪器。二战时，飞行记录仪正式在军用飞机上使用。而现代广泛使用的黑匣子直到 1953 年才出现，澳大利亚工程师大卫 • 沃伦在这一年研制出了黑匣子的雏形。1954 年，他发表了相关报告。不过，这种新兴设备却不受澳大利亚航空公司的欢迎，澳大利亚空军认为它“无助于解释事故的原因”。1958 年，一位英国空军的官员找到了沃伦。随后，黑匣子受到了英国空军的重视，英国人开始资助他生产黑匣子。


澳大利亚工程师大卫·沃伦和他发明的黑匣子

1960 年 6 月 10 日，泛澳航空 538 号航班（机型为福克 F27）抵达昆士兰州麦凯时坠毁，29 人死亡。调查人员进行了几个月的调查研究后依旧无法确定事故真正原因。于是，他们给出了“在福克 F27 及更大尺寸的载客飞机上配备飞行数据记录器”的建议。之后，澳大利亚强制要求军民用飞机安装

黑匣子。1972 年，美国空军也作出军用飞机上安装黑匣子的规定。此后，黑匣子在全球航空业得到了普遍运用，成为所有商用飞机和多数军用飞机的标准配置。如今，黑匣子的记录介质也从磁带式改进成为能承受更大冲击的静态存储记录仪，类似于计算机里的存储芯片，以防止黑匣子在空难中遭到损坏。



福克 F27 民航客机

黑匣子的外壳具有很厚的钢板和许多层绝热防冲击抗压保护材料，通常安装在飞机尾部最安全的部位，使飞机坠毁时对其的破坏降到最低。作为一种事关飞行安全的重要航空电子设备，黑匣子具有抗强冲击、抗穿透、抗高温火烧、抗深海压力、耐海水浸泡、耐腐蚀性液体浸泡等特种防护能力，能在各种飞机事故中保存其内部存储的信息。为了便于人们更容易寻找到掉落的记录仪，它们的外壳都被刷成了鲜亮的橘红色，外部还裹上了反射条带。就算它在大海里漂浮，搜寻飞机也能远远地发现它。



黑匣子的常见形状



NO.25　喷气式飞机的进气道有哪些类型？

喷气式飞机进气道是一个系统的总称，它包括进气口、辅助进气口、放气口和进气通道，因此它是保证喷气式发动机正常工作的重要部件之一，直接影响到飞机发动机的工作效率，对发动机是否正常工作，推力大小等有着致关重要的作用，因此它对飞机性能尤其是战斗机有很大的影响。

喷气式战斗机进气有两大作用：第一，供给发动机足量的空气以保证发动机正常工作；第二，保证进气流场能满足压气室和燃烧室正常工作的需求。发动机对进入空气的速度和匀度都有要求。如果进入进气道的空气速度和匀度超过了发动机正常承受的范围，就有可能引起发动机喘振甚至停车的危险。

按照进气道在机身上的位置不同，可以把进气道分为以下两类。

（1）正面进气。即进气口位于机身或发动机短舱头部，进气口前流场不受干扰，其优点是构造简单，它的缺点也很明显，在机头进气，飞机无法安装大型雷达天线，同时进气通道也太长，不利于飞机内部设备安装。早期的战斗机进气口多数在机身头部，如米格-19（苏联）、米格-21（苏联）、苏-17（苏联）和F-100（美国）等。进气道在发动机短舱头部的飞机有伊尔-28（苏联）、雅克-25（苏联）、B-52（美国）、B-58（美国）、S-3（美国）等。


正面进气的美国 B-52 轰炸机

（2）非正面进气。它包括两侧进气、翼根进气、腹部进气、翼下进气、肋下及背部进气等。这些进气口位置布置克服了正面进气的缺点，尤其是腹部和翼下进气的优点明显，它充分利用了机身工机翼的有利遮蔽作用，能减小进气口处的流速和迎角，从而改善进气道的工作条件；在战术机动性能上，飞机在大迎角机动时发动机工作状态平稳。两侧进气的飞机有 F-102（美国）、F-104（美国）、F-4（美国）、F-15（美国）、米格 -23（苏联）、米格 -25（苏联）、苏 -24（苏联）等；翼根进气的飞机有 F-105（美国）、“勇士”（英国）、“火神”（英国）、“胜利者”（英国）、SAAB 32（瑞典）等；腹部进气的飞机有 F-16（美国）、“台风”（欧洲）、“狮”式（以色列）等；翼下进气的飞机有 B-1B（美国）、图 -160（苏联）、米格 -29（苏联）、苏 -27（苏联）等；背部进气道的飞机有 B-2（美国）、A-10（美国）等。


两侧进气的美国 F-15 战斗机

按照进气道的结构分类，可以把进气道分为以下两类。

（1）不可调式进气道。这种进气道的形状参数不可调节，只能在设计状态下与发动机协调工作，这时进气道处于最佳临界状态。在非设计状态下，譬如改变飞行速度，进气道与发动机的工作可能不协调。当发动机需要空气量超过进气道通过能力时，进气道处于低效率的超临界状态。当发动机需要空气量低于进气道通过能力时，进气道将处于亚临界溢流状态。严格上讲，超音速进气道和亚音速进气道都会使阻力增加，不排除某些亚音速进气道或许出现前缘吸力大于阻力的情况，但过分的亚临界状态可使阻力增加，并引起进气道喘振。

（2）可调式进气道。与不可调式进气道相反，可调式进气道在进气口安装有中心锥、可调压缩斜板等装置，通过调整角度来调节进入进气道的空气参数，以便使进气道在非设计状态下也能与发动机协调工作，提高效能。

按照进气道的作战功效分，又可以把进气道分为超音速进气道和亚音速进气道。而超音速进气道又可以分为以下几类。

（1）三元轴对称进气道。它的进气口切面一般为圆形、半圆形、四分之一圆。在进气口安装有可调节式中心锥，通过前后移动中心锥来调节预压缩面以此控制进入进气道内的空气参数。米格 -21（苏联）、“幻影 2000”（法国）、“阵风”（法国）等战斗机都采用了这种进气道布局。

（2）二元矩形进气道。它的进气口切面通常为矩形或近似矩形。在进气口贴近机身一面安装有压缩斜板和附面层隔板，以此调节进入进气道内的空气参数和防止附面层流入进气道。F-4（美国）、米格 -23（苏联）等战斗机都采用了这种进气道布局。在此基础上经过改进，又产生了楔型进气道，它的切面近似于楔形，如 F-14（美国）、F-15（美国）、米格 -29（苏联）、苏 -27（苏联）等。

（3）后掠双斜面超音速进气道。它的进气口切面呈菱形，贴近翼根部位，是较新型的一种进气道布局。目前只有美国 F-18E/F“超级大黄蜂”战斗 / 攻击机采用了这种进气道布局。

（4）无附面层隔板进气道。它采用一个固定的鼓包模拟常规进气道中的一、二级可调斜板，并能够达到对气流的压缩以及简化结构、隐形的目的。这种进气道具有结构简单、重量轻、阻力小、隐身等特点。美国 F-35“闪电Ⅱ”战斗机采用了这种进气道布局。


采用三元轴对称进气道的法国“阵风”战斗机


采用二元矩形进气道的俄罗斯苏-27战斗机


采用无附面层隔板进气道的美国F-35战斗机

NO.26　可变后掠翼战斗机越来越少的原因是什么？

可变后掠翼是指机翼后掠角在飞行中可以改变的机翼。它的产生主要是为了解决后掠翼存在的问题。后掠翼使作战飞机的最大速度提高很快，但低速时气动效率低，升力较小。事实上，人们既希望飞机有很高的速度，又希望起降速度低，减少起降距离。解决这一问题的办法之一是使机翼的面积和形状可变，这就是可变后掠翼。

可变后掠翼的一部分或全部可前后偏转，在向前偏转时，后掠角减小，

展弦比增大，因而升力增加；向后偏转并收起时，后掠角增大，升力和阻力都减小。这样飞机通过改变机翼后掠角，使机翼面积和展弦比发生变化，适应了起飞和着陆阶段以及高速飞行阶段对升阻比的不同要求。可变后掠翼飞机在起飞和着陆时，机翼是展开的，而在高空巡航飞行时，机翼是收拢的。也就是说，可变后掠翼可使飞机的升力特性和升阻比极大地改善。可变后掠翼飞机在不同飞行速度均有较好的气动效率，可以在执行任务的每个飞行阶段都达到满意的性能，这是固定翼飞机难以达到的。

可变后掠翼技术的起源可以追溯到二战时德国的 P-1101 战斗机。20 世纪 50 ～ 70 年代，兼顾亚音速和超音速飞行成为飞机设计的主题，可变后掠翼技术得到实用化，这是传统飞机变形设计的一次革命性飞跃。20 世纪 60 ～ 70 代是可变后掠翼技术发展的黄金时期，先后出现了包括 F-111（美国）、B-1B（美国）、F-14（美国）、苏 -24（苏联）、苏 -17（苏联）、米格 -23（苏联）、米格 -27（苏联）、图 -22M（苏联）、图 -160（苏联）、“狂风”（欧洲）等可变后掠翼飞机。因为在军用飞机方面，可变后掠翼不仅可以解决不同设计点气动布局的矛盾、改善飞行器的多功能性，还可以缩短跑道起飞距离、增大航程并且提高其经济效益和作战功能。

20 世纪 80 年代，随着航空技术的进步，可变后掠翼技术逐渐被淘汰了。究其原因，一是因为可变后掠翼的可靠性、安全性和可维护性差；二是最新的航空技术开始着眼于“翼身融合”的升力体和边条翼技术，不再存在实际意义上的机翼，也就无所谓可变后掠翼的概念了。“翼身融合”的升力体和边条翼技术，鸭翼技术以及先进的大推力涡扇发动机，这些新技术极大地提高了战斗机的综合飞行技术性能，原有的可变后掠翼所带来的性能优势已经完全被新技术所取代。



采用可变后掠翼的美国 F-111 战斗轰炸机


采用可变后掠翼的美国 B-1B 轰炸机


采用可变后掠翼的苏联图 -160 轰炸机


采用可变后掠翼的欧洲“狂风”战斗机



NO.27　战斗机采用鸭式布局有何利弊？

自飞机诞生以来，设计师通常将飞机的水平尾翼和垂直尾翼都放在机翼后面的飞机尾部。这种布局是现代飞机普遍采用的气动布局，因此称之为“常规布局”。但在二战中，苏联发现如果将水平尾翼移到主翼之前的机头两侧，就可以用较小的翼面来达到同样的操纵效能，而且前翼和机翼可以同时产生升力，而不像水平尾翼那样，多数情况下会产生负升力。早期的鸭式布局飞起来像一只鸭子，“鸭式布局”由此得名。目前，欧洲国家的第四代战斗机几乎都是鸭式布局，如“台风”“阵风”、JAS 39“鹰狮”等。

鸭式布局的优点

鸭式布局的主要优点是配平阻力比较小，具有较大的升阻比。通常飞机增大迎角、增大升力时会产生低头力矩。鸭翼处于飞机重心之前，增大机翼迎角和升力时，鸭翼出现正偏转，产生正升力(常规布局飞机平尾出现负偏转，产生负升力)，用抬头力矩加以平衡，使全机升力增大。为了获得预定的升力，飞机迎角就要小于常规布局飞机的迎角，使鸭式飞机的配平阻力明显小于常规布局飞机而具有较大的升阻比。

采用鸭式布局的飞机在正常飞行状态下并没有多少优越性，但是当飞机需做大强度的机动如上仰、小半径盘旋等动作时，飞机的前翼和主翼上都会产生强大的涡流，两股涡流之间的相互耦合和增强，产生比常规布局更强的升力。因此在同等条件下鸭式布局的飞机比常规布局的飞机具有更好的机动性。

另外，鸭式飞机可以用较小的机翼升力获得较大的全机升力，有利于减轻飞机的结构重量。此外，由于鸭翼距飞机重心的距离较短，大迎角飞行时，鸭翼的迎角一般大于机翼的迎角，鸭翼首先出现气流分离，导致飞机低头，使鸭式飞机不易失速，有利于飞行安全。

鸭式布局的缺点

鸭式布局的缺点有：鸭翼处在机翼的上洗气流中，其大迎角或鸭翼大偏度时有失速问题，影响操纵和配平的能力。为此鸭面一般采用大后掠和小展弦比的平面形状，虽然这样可以缓和失速，但同时也带来鸭面升力效率降低的问题；与平尾飞机相比，鸭式飞机的横侧气动特性存在较多问题，鸭翼涡对垂尾的不利干扰，保证良好的大迎角横侧稳定性是鸭式飞机设计的一大难

点。鸭面的不同偏度对横侧气动特性可能产生不同的影响，使达到可接受的横侧气动特性的问题更加复杂化；鸭式飞机的起飞着陆性能受鸭翼配平能力的限制，不能使用后缘襟翼，或者只能使用很小的偏度，为了解决这一问题，有时要在鸭翼上采用前或后缘襟翼，甚至采用吹气襟翼，使问题复杂化的同时也增加了重量。

此外，平尾布局的飞机用差动平尾加副翼操纵可以得到很高的滚转率。而鸭式飞机一般采用大后掠角小展弦比的鸭面，差动时的横向操纵效率不高，而鸭式飞机的机翼后缘襟翼往往还要当作俯仰操纵面使用，着陆时还可能要做增升襟翼，这些都限制了后缘襟副翼的横向操纵能力，因此鸭式布局飞机的横向操纵能力比平尾飞机要差。


采用鸭式布局的“台风”战斗机


采用鸭式布局的“阵风”战斗机



采用鸭式布局的 JAS 39“鹰狮”战斗机



采用鸭式布局的瑞典 SAAB 37 战斗机



NO.28 无尾三角翼飞机在作战性能上有何优势？

三角翼（Delta wing）是机翼平面形状的一种，由于其形似三角形而得名。三角翼构型普遍具有超音速飞行阻力小、结构强度高、跨音速时机翼重心向后移动量小的特点，这对于舵面平衡能力较差的飞机尤为重要，所以无尾飞机和鸭式飞机基本上都采用三角翼。最常见的三角翼飞机是法国达索公司生

产的“幻影”系列战斗机。

在结构上，三角翼极长的翼弦可以使用简单的结构把力量均匀分布在机身，也使机翼厚度由尖锐的前缘经较长距离过渡至较厚的翼根，兼顾低阻力与高结构强度，并获得充足的机翼油箱空间，并提高战损容忍度。在追求战斗机高速性能的时代，无尾三角翼设计曾经被各国空军竞相采用，各国最新研发的先进无人机也大多采用了此类布局设计。究其原因，主要是因为无尾三角翼布局具有以下突出优势。

第一，超音速阻力小。小展弦比、大后掠角的大三角翼，加上这类机翼固有的相对厚度小的优点，降低了其超音速零升阻力。在超音速条件下，无尾飞机配平阻力也相对较小。与常规布局飞机相比，平尾和无尾飞机升降副翼在相同偏转角度条件下引起的配平阻力相当，而实际配平时无尾飞机偏转角度较小。

第二，在满足设计要求的前提下飞机结构重量较轻。由于省去了平尾的重量，加上机身长度缩短以及大三角翼的结构重量较小，这种先天重量优势使无尾飞机在改善飞机机动性时具有更高的起点。不过如果强调飞机续航能力，那么无尾大三角翼飞机相对于现代高性能常规布局飞机而言，巡航阻力稍大，因此需要携带更多的燃油，这部分重量基本上抵消了结构上的重量优势。此外，由于结构重量减轻，相应的成本和价格也有所降低。

第三，常规机动性较好。为了缓解起降性能差的固有弱点，无尾三角翼飞机通常会选择较低的翼载。低翼载不仅有助于提高飞机盘旋能力，而且设计良好的话可以缓解大后掠三角翼带来的诱阻大的问题——因为相同过载下需用的升力系数较低，不需要拉那么大的迎角获得较高的升力系数。这实际上是无尾三角翼布局机动性好的主要原因。

第四，隐身性能好。一般来说，飞机最大雷达反射源来自雷达、机身外挂点、座舱盖和进气道，而无尾三角翼布局的飞机有效地避免了以上雷达反射源。从外形上来说，无尾三角翼飞机取消了所有机腹外挂点，武器舱内置，而且采取背负式进气道，大大减小了雷达发射面和红外探测的可能性，再加上机身隐身涂料的应用，可以大大提高隐身性能。

小贴士

无尾三角翼飞机不适合用在航空母舰上，因为航空母舰的跑道长度非常有限。因此法国海军航空母舰一度只能使用美制 F-8“十字军战士”战斗机，且长期得不到一种新的先进战斗机用以换代。



采用无尾三角翼布局的法国“幻影Ⅲ”战斗机



采用无尾三角翼布局的法国“幻影 2000”战斗机



采用无尾三角翼布局的美国 F-102“三角剑”截击机



采用无尾三角翼布局的英国“火神”轰炸机



NO.29 上单翼飞机和下单翼飞机有何区别?

飞机的机翼安装有上下之分，上单翼飞机是指机翼安装在机身上部的飞机，下单翼飞机则是指机翼安装在机身下部的飞机。

上单翼飞机的最大优点是机场适应性好。这种飞机的机翼离地高度高，机翼下面有足够的空间吊挂发动机，不会轻易地将地面的沙石吸入进气道损坏发动机。这对军用运输机、轰炸机而言尤为重要。军用机场的条件千差万别，跑道上难免会有尘土、泥沙和碎石，所以上单翼布局对防止发动机吸入异物有较好的作用。由于没有发动机离地间隙的限制，可以将机身设计得离地很近，而且上单翼飞机的机翼安装不会中断机身整个内部空间的连续性，因此可以采用较低的货舱地板和尾部大舱门，适合装运大件货物。

因此，军用运输机为了在狭窄甚至堆满货物的场地起降，上单翼加翼吊发动机形式的布局更容易被采用，而且还可方便伞兵从机身侧门跳伞，由运输机改装而来的 AC-130 重型攻击机甚至还能使用对地武器，这些都是下单翼飞机所无法比拟的。

此外，上单翼飞机的机翼一般都带下反角，以保证有较好的低空稳定性，而且对侧风不敏感，适合执行低空空投等任务。上单翼飞机的机翼不容易在战争环境中受损，而下单翼飞机的机翼较容易被导弹、防空炮火和子弹击中。

下单翼飞机的优点是翼梁穿过机舱，机翼强度高、阻力小、升力大。主

起落架布置在机翼根部，强度较高。起落架舱可以设置在机翼根部的整流罩中，翼吊发动机距离地面较近，从而方便维护，飞机机翼还可以用来作为紧急撤离时的通道。

下单翼飞机的缺点也正是由于横穿机体下部的翼梁和中央翼盒将机体下部货仓隔断，不利于布置大型货仓。此外，下单翼结构稳定性差，低空抗横风能力弱，不适合低空飞行。较低的机翼和发动机，还可能对自前门跳伞的伞兵形成巨大威胁。由于下单翼飞机翼吊发动机离地高度较低，容易受到异物吸入的威胁。

任何事物都有两面性。从气动设计来说，上单翼飞机升力大，稳定性好，但机动性较差；下单翼稳定性较差，但机动性较好。由于流经机翼的气流会严重影响平尾工作，所以上单翼飞机一般都将平尾放至垂尾顶部，形成 T 形布局，而下单翼飞机一般都是低平尾布局。

由于机翼离地高度高，上单翼飞机的起落架一般不安装在机翼上，而装在机身上。恰恰就是因为这一点，缩短了起落架支柱的长度，降低了飞机的重心，有利于在野战机场降落。下单翼飞机的起落架一般都安装在机翼上，起落架收起时机轮通常收藏在机翼根部。从维修的角度来说，上单翼飞机由于机翼位置较高，对飞机的维护修理不甚方便。而下单翼飞机则比较方便。

上单翼飞机翼吊发动机工作时的噪声直接传入机舱，对乘员的影响很大，有时甚至难以忍受。而对于下单翼飞机来说，由于受到机翼的阻隔，传至机舱内的噪声大大降低，从而提高了飞机的舒适性。



采用上单翼的美国 C-17 运输机


采用上单翼的苏联安 -225 运输机


采用上单翼的欧洲 A400M 运输机



采用下单翼的波音 737 民航客机



NO.30 双座战机串列布局与并列布局有何区别？

现代战机为了适应不同任务要求而设计成单座或双座机型。轻型战斗机由于主要用于单一的空战任务，大多采用单座。而重型战斗机或攻击机一般多采用双座，这是因为重型战斗机同时肩负对空、对地的双重战斗任务，飞行员不仅要完成飞行控制，还要对空中目标和地面目标实施攻击。

双座战机因为多出一名飞行员，就能担负更多任务，因此双座战机可以执行一些单座战机无法执行及难以独自执行的任务，譬如空中指挥、电磁压制、制导武器投射等。也就是说既可以由单人驾驶，也可以由双人联合操纵。

按照飞行员座椅的位置，双座战机可以分为并列双座和串列双座两类。前者是指两名飞行员并排而坐，后者则是两名飞行员一前一后的布局。关于并列双座和串列双座的设计，最初是由战机的设计需求所决定的。

美国海军在 1963 年服役的 A-6“入侵者”舰载攻击机和美国空军在 1967 年服役的 F-111“土豚”战斗轰炸机以及苏联在 1974 年服役的苏 -24“击剑手”战斗轰炸机，都需要具备超低空高速突防的能力。在当时的技术条件下，超低空突防打击的危险性很高，需要驾驶员与武器控制员的紧密配合，并列双座便于飞行员之间的沟通。

更重要的是，用于搜索、制导、瞄准的设备体积、重量过大，而且自动化程度极低，采用并列双座设计，可以在飞机上只装备一套此类设备，由驾驶员和武器操作员共同使用。不过随着技术的进步，这些问题早就得以一一解决，新型战机在超低空突防时，飞机的自动飞行装置，甚至比驾驶员操作更可靠。

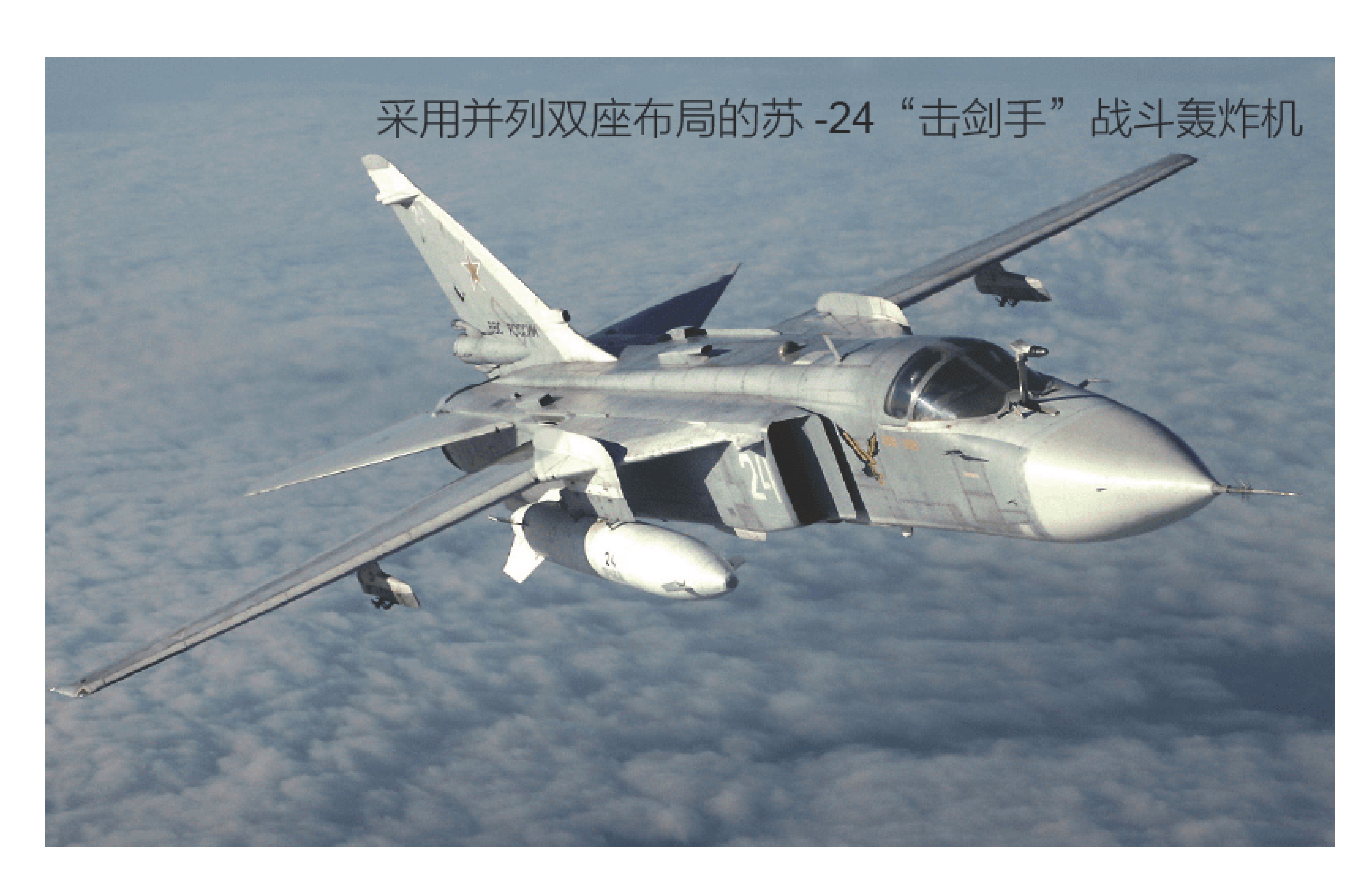
应该说，从 20 世纪 70 年代开始，并列双座设计所能带来的好处，已经随着技术的发展而荡然无存，但其带来的飞行阻力过大的问题，则是对航程要求很高的战斗轰炸机、攻击机所无法容忍的。因此，大多数双座战机都采用串列布局，虽然后座视野不足且交流困难，但可以保证飞行质量。

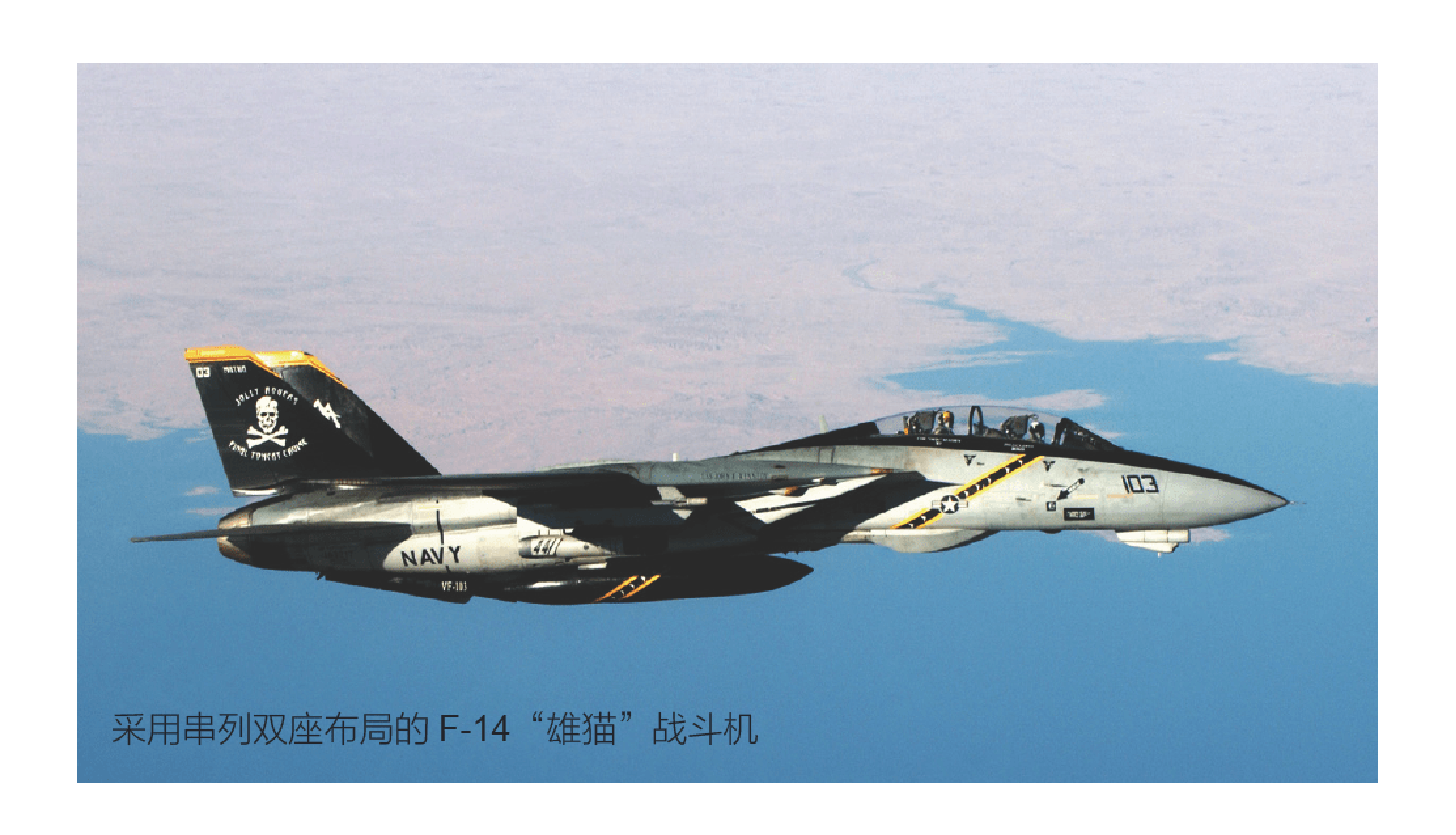
值得一提的是，随着现代战机功能的广泛拓展，各种操控日趋复杂，双座战机前后座舱的分工更加精细明确，很多战机的后舱已经取消了操纵杆、油门等，也就是说后舱无法再开飞机。而且，随着现代战争作战环境更加复杂、作战方式更加多样，这种前后座舱的分工区别会越来越大，这也是未来战机的发展趋势。



采用并列双座布局的 A-6“入侵者”攻击机


采用并列双座布局的 F-111“土豚”战斗轰炸机


采用并列双座布局的苏 -24“击剑手”战斗轰炸机



采用串列双座布局的 F-14“雄猫”战斗机

NO.31 战斗机有没有必要配备登机梯?

登机梯就是飞行员上下飞机用的梯子，一般来说大型飞机如运输机、轰炸机等，因为机体较大，对重量不是很敏感，通常都装有随机登机梯。对于战斗机来说，一是机上空间较小，机头部分几乎每寸地方都有用处，很难找到空间安装登机梯；二是战斗机对重量比较敏感，战斗机在设计时，对每一千克重量都要计较。

因此，在战斗机装不装登机梯这个问题上，也分成了两个流派。以俄罗斯为首的飞机设计流派，认为战斗机在机场都有地勤人员保障，为简化飞机结构、降低重量，所以基本都不设置登机梯。而以美国为首的西方国家，则讲求作战飞机的自主性和适应性，战斗机上普遍都带有登机梯，使飞行员不依靠专门的登机梯和地勤人员即可自行迅速离开飞机。

为节省空间、简化结构并控制重量，美国飞机的登机梯通常都采用简易设计，例如 A-6“入侵者”攻击机的登机梯就和进气道蒙皮合二为一，将这部分蒙皮翻出来就成了梯子；到 A-7“海盗Ⅱ”攻击机诞生时发明了天线式登机梯，这种登机梯就是一根可伸缩的管子，管子两侧装了几个脚蹬，结构非常简单，重量也比较轻，因而被后来的很多飞机采用，如 A-10“雷电Ⅱ”攻击机、F-35“闪电Ⅱ”战斗机等。

总体来说，战斗机自带登机梯利大于弊。众所周知，战斗机起飞前需要

地勤人员仔细检查，降落后也需要地勤人员检查维护，一个战斗机中队需要几十名甚至上百名地勤人员。如果战斗机没有自带登机梯，就会在无形中增加地勤人员的工作环节，现代各国空军发展都在极力简化后勤，减少人员和工作量，降低飞机的维护成本，如果飞机自带登机梯，无疑会减少地勤人员的数量和工作量。如果说陆基战斗机因为机场保障能力强的原因可以不装，但舰载战斗机因为航空母舰甲板面积有限，移动登机梯用起来并不是那么方便，如果自带登机梯，可以大大降低航空母舰甲板工作人员的劳动强度。

此外，随着发动机技术的进步，发动机的推力提高很大，而且战斗机的复合材料使用比例越来越大，登机梯增加的重量对飞机性能的影响几乎可以忽略不计。所以，自带登机梯的弊端已经越来越少。



装有天线式登机梯的美国 A-7“海盗Ⅱ”攻击机



装有天线式登机梯的美国 A-10“雷电Ⅱ”攻击机



美国 F/A-18“大黄蜂”战斗 / 攻击机自带的登机梯



美国 F-35“闪电 Ⅱ”战斗机的飞行员正在下飞机

NO.32　战机如何通过外形设计减少雷达反射截面积？

由于电磁波的反射强度与物体的几何形状密切相关，因此合理的外形布局是减少雷达反射截面积的重要措施，而外形雷达隐身技术的关键在于削弱

雷达的回波或使雷达的回波闪烁不定。

雷达回波分直接反射和雷达后向散射。直接反射即通常所说的入射角等于反射角的反射。当雷达波的入射角不是很大或目标距离雷达较远时，由于绝大部分雷达入射波都被反射到其他方向上，雷达将接收不到目标反射来的回波，所以目标一般不易为雷达发现。然而当反射面正对着雷达时，或入射波通过多次折射返回入射方向，这种直接反射到雷达接收天线的回波将成为最大的雷达可视信号。

与直接反射不同，雷达后向散射是各向性的、发散的。它涉及入射场与整个反射结构的相互作用，对大多数雷达来说其波长大大小于目标的典型面积，电磁散射实际上是局部现象；但是当电磁波波长加长或反射面面积减小时，直接反射渐趋消失，散射增强，入射能量大部分可通过漫反射散射出去。

整体理念

战斗机要实现外形隐身，不光要减少与雷达入射方向成直角的平面，还要减少与雷达入射方向成直角的缝隙和边缘。一般来说，隐身战斗机在总体布局上应遵循以下设计理念。

第一，消除镜面成直角的反射。合理控制战机的整个外形，避免表面采用较大的平面和凸状弯曲面，用小平板外形代替曲面外形，使用多方向的镜面反射和边缘衍射代替小角度的、能量集中的大镜面反射，以抑制镜面强反射。例如，美国 F-117“夜鹰”攻击机将机头做成多锥形，机身做成多面体并配以低置的下单平底薄翼。这样可以使雷达波形成瞬时闪烁的微弱回波，但也会明显影响飞机的气动性能。

第二，采用简洁的外形。通过实验发现，尽量保持战机气动布局简洁，采用翼身融合且机身、机翼、尾翼各端面对称平行，使其各端面在几个特定方向具有同向的反射性，这样做被敌方发现的概率要比无规律气动布局低得多，且由于随着战机的飞行姿态和相对于探测雷达相位的不断改变，其行踪极难跟踪。

第三，克服角反射器效应。战机在外形上一般采用机翼、机身、尾翼和短舱连接处光滑过渡，机翼与机身高度融合的构型。战机通过采用组合的三维曲度和不断改变曲率半径的外形，避免长而恒定的曲线，还可以避免仰视和俯视雷达回波。对于机翼、机翼上的垂直安定面、水平尾翼、机翼下挂架、翼身连接处等会形成强烈的角反射器效应的部位，常采用内 / 外倾的双垂尾或无垂尾、翼端（或翼上）安定面、机身侧边等构型。



小贴士

角反射器效应是指目标上的两面体或角体结构产生的散射。当雷达的无线电波射入两个互相垂直面中的任一个面时，由于无线电波的“镜面反射”效应，就会形成二次反射，最后以与入射波束相同的方向反射波于到雷达。而由3个互成90度的表面形成的角体，当雷达的无线电波射入这3个表面中的任一表面时，可能形成三次“反射”，从而在较宽的“视”角范围内返回很强的电磁波能量于雷达。因此消除角反射器效应要避免出现任何边缘、棱角、尖端、缺口等垂直相交的界面。



美国F-117“夜鹰”隐身攻击机



美国B-2“幽灵”隐身轰炸机

实际设计

在实际设计时，一般以上述三条为设计准则，根据战机的任务性质和飞行特征逐步细化战机的每个部位，减少其他强散射部位，以降低雷达反射截面积。例如，战机头部大多采用大后掠多面体的锥形设计，其雷达天线、空速管等都采用保形设计，尽量缩小机体尺寸。如果该机的任务性质和飞行特性是中高空飞行，由于大部分敌方雷达探测系统是在其前下方，那么这种战机的头部设计应注重头锥和头锥以下部分。而对于一些采用超低空突防的战机，由于探测雷达大部分是在其前方或前上方，所以其头部设计与前者相反。

在机体设计上，也是根据任务性质和飞行特征而定，如果该机的任务性质和飞行特性主要是中高空飞行，那么该机的下表面应该尽量平滑。要求机体各个蒙皮表面光滑无铆钉，舱口盖尽可能少（把大部分舱口盖设在机背上），战机上的各种矩形舱盖的前后缘也不应正对雷达入射方向，各种开口都是锯齿形的前后缘。接缝紧密且接缝处构型要与战机布局相适应。减少机体凸出物，尽可能去掉外挂物或设计成可收入机内的吊架。

在机翼平面设计上，为了降低雷达反射截面积，战机翼面设计最好采用前缘后掠，后缘采用锯齿形设计；合理调整其后掠角、展弦比、根梢比等参数，以减少散射源；用边缘衍射代替镜面反射；采用飞翼或碟形翼气动布局，将机翼翼尖修圆，使弹翼前缘经圆角逐渐过渡到弹翼后缘，使边缘绕射的主散射源变为爬行波次散射源。另外，机翼最好采用无尾气动布局，并将机身和机翼尾部设计成锯齿状。对于常规气动布局来说，不宜采用前小翼，因为战机隐身的重点就是机身前方，如果鸭翼在前，鸭翼的配平偏转等不能被机翼挡住，加上产生的各种角反射、绕射等会使飞机的前视雷达反射截面积大很多。而平尾在机翼后面，利用前面的大面积机翼屏蔽后面的尾翼，对降低前向雷达反射截面积十分有利。

对于发动机进气道、尾喷管、排气口等，都可看作凹状结构，具有较强的雷达信号特征，因此，这类结构隐身一般采用遮蔽法，其要点是利用机体的某一部分遮避发动机的进气道或尾喷口，以减小雷达探测的视角范围。对于中空和高空突防战机，最好将发动机的进气道安装在机翼内侧的机背上，因为采用背部进气和背部安装的尾喷管可以有效地遮挡地面雷达对发动机的视线，但对空中预警机则效果有限。此外，背部进气道在大迎角机动时气流畸变严重，不利于发动机稳定工作，因此不适合在高机动性飞机上使用。而对于那些既要求有良好的隐身性又经常采用大迎角机动的战机，则适宜采用



进气口斜切的双斜面外压式楔形进气道。


美国 F-22“猛禽”隐身战斗机


具备局部隐身能力的欧洲“台风”战斗机

NO.33 战机使用的雷达隐身材料有哪些类型?

应用雷达隐身材料是提高战机隐身性能的重要途径。合理的外形设计可将战机的雷达反射截面积减少 75% 以上，那么再使用隐身材料，就可进一步提高到 90% 以上。雷达隐身材料主要分为透波材料和吸波材料等。

透波材料

透波材料是一种对电磁波很少发生作用或不发生作用而对其保持透明状态的非金属类复合材料。雷达发射的电磁波碰到金属材料时，除一部分被反射外，容易在金属材料中感应生成相同频率的电磁流。电磁流的流动会建立起电磁场，向雷达二次辐射能量。而透波材料则不同，由于材料本身是由一些非金属材料和绝缘材料组成的，故其导电率要比金属材料低得多。因此，当雷达发射的电磁波碰到复合材料时，难以感应生成电磁流和建立起电磁场，所以向雷达二次辐射能量少。但由于机体内有其他金属材料制造的发动机、导线和电子设备等，透波材料在减小雷达反射截面积方面作用并不大，只能作为易剥离吸波材料的保护外套或主动隐身技术的屏蔽容器。

吸波材料

吸波材料是指能够通过自身吸收作用减少目标雷达反射截面积的材料，按吸收机理不同，可分为吸收型、谐振型和衰减型三大类。但其基本原理都是使入射的雷达波能量在分子水平上产生震荡，并通过该运动的耗散作用转化为热能或其他形式的能量，从而有效地弱化某些关键部位的雷达回波强度。按应用方式不同，吸波材料可分为涂敷性吸波材料和结构型吸波材料。

涂敷性吸波材料也就是涂敷在飞行器表面用来吸收雷达波的涂料。它分普通型、放射同位素型涂料和纳米隐身型涂料等。普通型涂料主要是各种铁氧体材料，即在氧化铁类陶瓷材料中加入少量的锂、镍等金属，如用于厘米波段隐身的锉（或镍）锡铁氧体等。目前研制出的普通型隐身涂料种类多、效果好；放射性同位素型涂料又称有源吸波材料或主动等离子隐身材料，它以钋 -210、锯 -242、锶 -90 等放射性同位素为原料，其原理是通过放射性同位素衰变辐射的高能粒子，轰击周围空气分子，形成等离子屏，等离子可吸收高于自己频段的电磁波，对低于自己频段的电磁波则产生绕射、散射、反射，造成雷达的测量误差。其特点是吸收频带宽，反射衰减率高，使用寿命长。不过，放射性同位素型涂料对战机飞行员和维护保障人员有很大的危害，因此很少被采用；纳米隐身材料是将某些吸波材料加工成纳米级，利用纳米材料的特殊结构与入射雷达波相互间产生的量子尺寸效应及隧道效应等获得很好的吸波效果。如普通的铁氧体材料加工成纳米级，其吸波能力将大增。

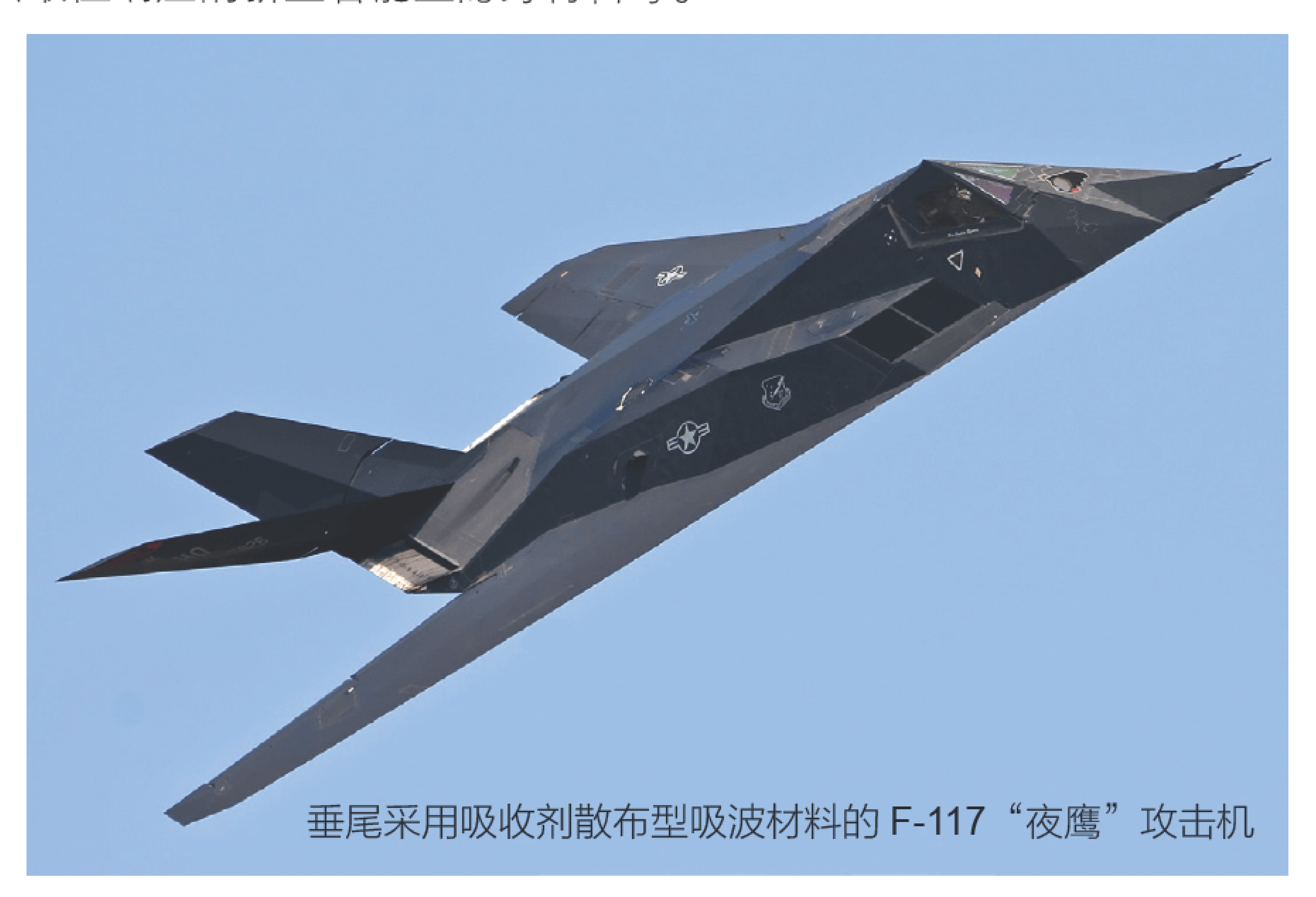
结构型吸波材料是采用高强度宽波段吸波性的轻质耐热复合材料作为战机结构材料，由多层结构材料组成（至少有三层：最外层是透波层；中间层是电磁波损耗层；最内层是基板），具有反射抵消雷达波的特性。由于结构

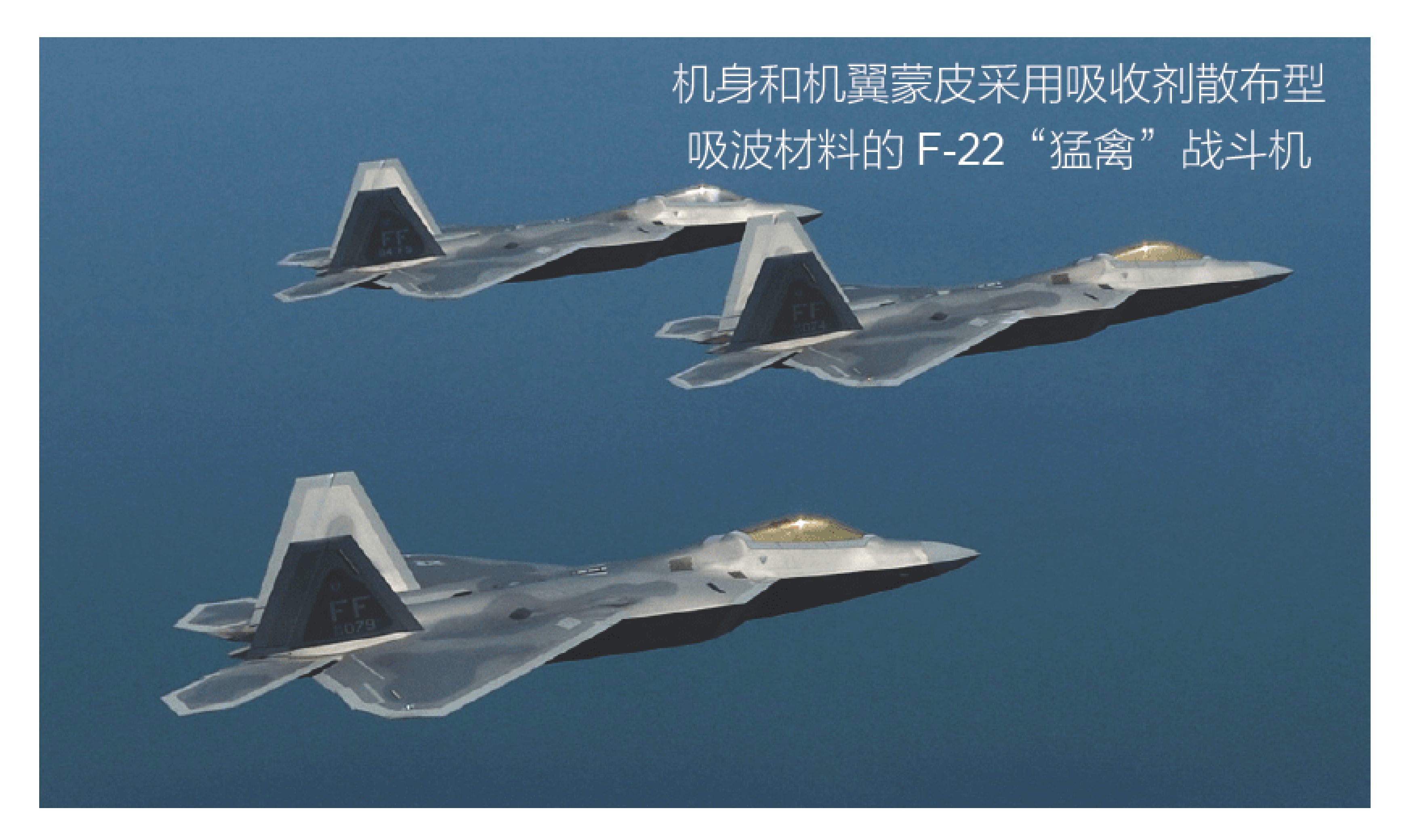
型隐身材料是以非金属为基体填充吸波材料形成的，因此，既是一种承力部件，又是一种具有优良的电磁波吸收性能的复合材料。

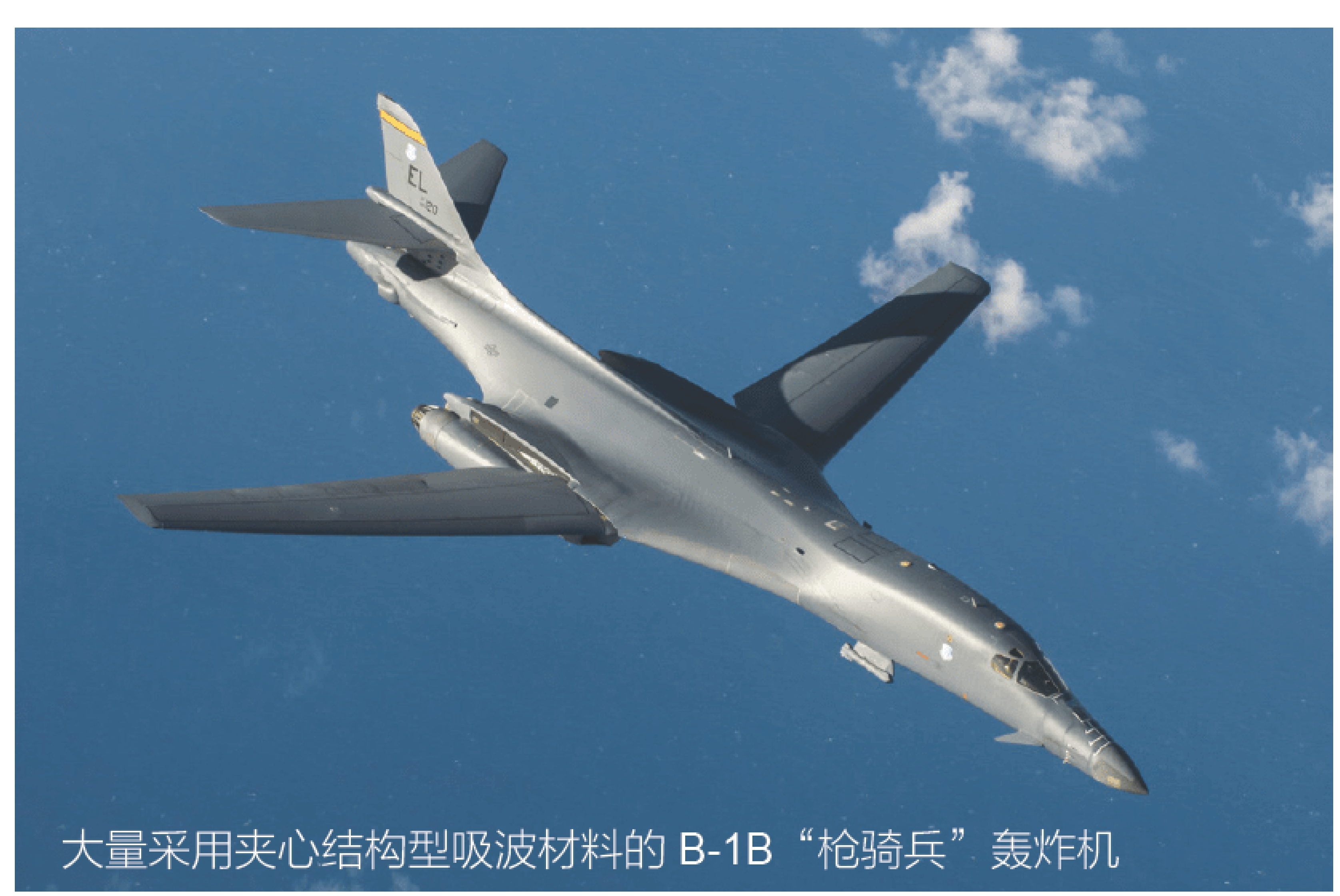
目前，各国研制的结构型吸波材料大致有吸收剂散布型、层板型和夹心结构型三种。吸收剂散布型是由热塑性聚醚醚酮这类树脂纺成单丝和复丝，分别和碳纤维、玻璃纤维等特殊纤维按一定比例交替混杂成纱束，再将其编织成织物与同类树脂制成复合材料。美国F-117“夜鹰”攻击机的垂尾、F-22“猛禽”战斗机的机身和机翼蒙皮均采用了这种吸波材料；层板型是将复合材料制成多层结构，最外层为透波材料，中间层为电磁损耗层，最内层则由具有反射雷达波性能的材料构成；夹心结构型是用透波性良好且强度高的复合材料作面板，以蜂窝结构、波纹结构或锥形结构作芯子，再用石墨、磁粉、泡沫、铁氧体、碳墨等吸波材料填充而制成的复合材料。特点是重量轻、比刚度、比强度高、易做成复杂曲线结构。美国 B-1B “枪骑兵” 轰炸机运用的夹心结构型材料占整个结构材料的 30%。

其他材料

除上述雷达隐身材料外，各国还在不断研究新的吸波材料，具有蜂窝结构、黑体结构、螺旋结构、旋光性结构以及利用其旋光色散特性吸收电磁波能量的柔性聚合材料；具有轻质宽频带特性的导电高聚物材料；靠电磁涡流损耗和磁滞损耗降低电磁波辐射的多晶铁纤维吸收材料电流 / 磁流变吸波材料；半导体隐身材料；可具有感知功能、信号处理功能、自我指令并对信号作出最佳响应的新型智能型隐身材料等。


垂尾采用吸收剂散布型吸波材料的 F-117 “夜鹰” 攻击机


机身和机翼蒙皮采用吸收剂散布型吸波材料的 F-22“猛禽”战斗机


大量采用夹心结构型吸波材料的 B-1B“枪骑兵”轰炸机


B-1B“枪骑兵”轰炸机仰视图



NO.34 战机如何实现红外隐身?

作为雷达探测的补充，红外探测器是远程探测战机的另一种重要手段。随着光电技术的飞速发展，重视红外探测的军事强国越来越多。因此，战机隐身技术的一项重要工作就是提高自己反红外探测的能力，也就是红外隐身技术。

所谓的红外隐身技术，就是利用屏蔽、低发射率涂料、热抑制等措施，降低或改变目标的红外辐射特征，即降低目标的红外辐射强度与特性，从而实现目标的低可探测性。这可通过改进结构设计和应用红外物理原理衰减、吸收目标的红外辐射能量，使红外探测设备难以探测到目标。目前，抑制战机红外辐射的方法主要有以下几种。

第一，改变战机本身的红外辐射特征，即改变本身的红外辐射波段，使战机辐射波段处于红外探测装置的探测频段之外，使其失效以达到隐身目的。

第二，模拟背景的红外辐射特征，使战机与背景的红外辐射分布状态相协调，成为整个背景红外辐射图像的一部分或采用红外辐射变形技术，通过改变战机各部分红外辐射的相对值和相对位置，改变战机易被红外成像系统所识别的特定红外图象特征，从而使敌方难以识别。

第三，降低战机红外辐射强度，即降低其与背景的热对比度。其主要是通过降低辐射体的温度和采用有效涂料降低战机的辐射功率，使敌方红外探测器接收不到足够的能量，减少被发现、识别和跟踪的概率。

目前，战机采用的红外隐身技术主要有：在战机表面涂覆红外涂料，在涂料中加隔热和抗红外辐射成分，以抑制战机表面温度和抗红外辐射。采用闭合回路冷却系统，这是在隐身战机上普遍采用的措施。它能把座舱和机载电子设备等产生的热传给燃油，以减少战机的红外辐射。此外，还可以采用局部冷却或隔热的方法降低蒙皮温度，或采用蒙皮温度预热燃油的方法。

由于发动机的尾喷管和排气尾焰是红外探测器的主要红外源，因此要减小发动机尾喷管或排气口的红外辐射。目前，已采用或正在研究的措施有以下几种：采用散热量小的发动机和红外特征小的结构布局。现代隐身战机大多采用无加力后燃室的涡扇发动机，相对于涡喷发动机具有噪音小、排气温度低、尾焰红外辐射强度低、节约能耗等优点。在燃烧室设计上不断完善燃烧技术，采用高效节能燃烧室和燃烧充分、雾化良好的气动喷嘴或蒸发式喷

嘴。采用金属石棉夹层材料以及铝塑纸等各种隔热材料对发动机进行隔热。采用全长加力筒体隔热屏及延长发动机尾喷管并采用热保护层或者发动机深埋入机腹内等。采用发动机废气出口遮蔽法，如用发动机排气口周围的环形罩遮蔽红外辐射；在喷口附近安装排气挡板或红外吸收装置，或使战机采用大角度倾斜的尾翼遮挡红外辐射等。

实践证明，通过采用上述各项技术措施，可把战机的红外辐射消除90%，使敌方红外探测器从战机尾部探测的距离缩短为原来的30%，甚至更小。


美国 F-22“猛禽”战斗机采用了多种加强红外隐身能力的措施


具备声音、红外、可见光和雷达波全方位隐身能力的美国 F-117“夜鹰”攻击机


采用全向轴对称推力矢量喷口令俄罗斯苏 -57 战斗机的红外隐身性能大打折扣



NO.35 战机如何实现可见光隐身？

在战机隐身设计中，视觉特征是除了雷达反射截面积和红外特征以外的另一个主要问题，尤其是在近距格斗中。目前，要想实现战机对视觉完全隐身还不现实，但是在可见光隐身上至少做到了在一定的视距内不易被发现。

目前，战机反可见光探测采取的隐身技术措施主要有：改变战机外形的光反射特性，用小水平面多向散射取代大曲面反射（效果与镜面反射相似）；控制战机本身的亮度和色度，如在表面喷涂迷彩、使目标与背景色彩和亮度匹配；合理控制发动机尾焰和尾迹；控制照明和信标灯光以及运动部位闪光信号等。

此外，欧美等国还在研制视觉隐身材料。第一种是热致色变材料，它根据温差以及所组成颜料的性质可以很快由一种颜色改变成另一种颜色。这类材料虽然有多种改变色彩的能力，但是动态反应能力慢，因此优先用于移动速度慢的装备。

第二种是光致色变材料，它对光辐射敏感，能根据环境自动改变其颜色。当掺杂二氧化钒时，在接近 20℃时会产生可逆的相转变，可从半导体转变成

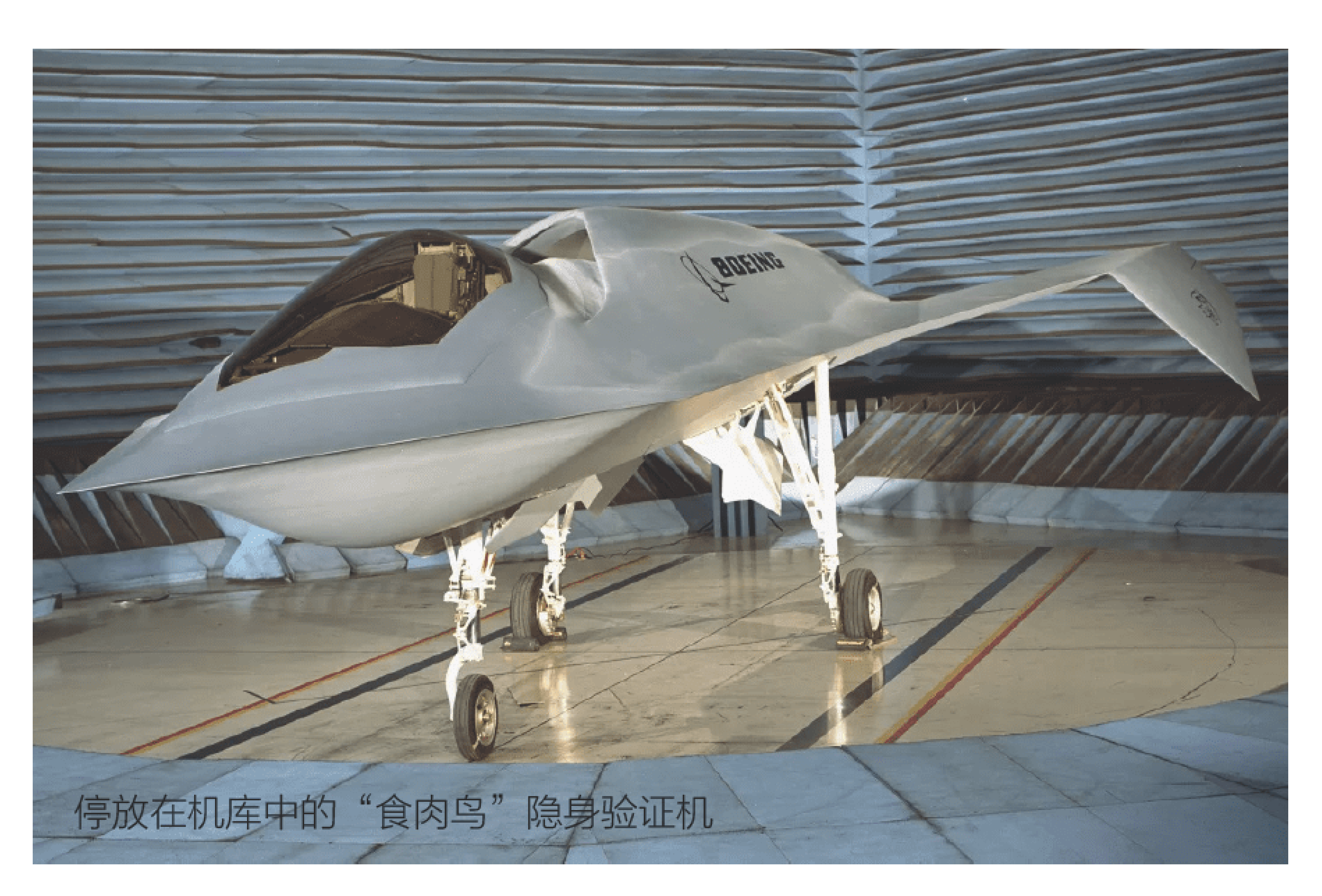
绝缘体，从而具有极微弱的滞后效应。在绝缘状态下，二氧化钒是透明的。在导电状态下，特别是在红外线作用下，它具有金属属性，起镜子作用。这种状态的转变可在 7 ~ 10 秒内完成。目前，这种材料可作为反激光的“盾牌”。当受到激光束照射时，二氧化钒薄膜在强热作用下瞬时改变状态，使入射线向空间反射。

第三种是电致色变材料，例如三氧化钨，可以极其迅速地从一种颜色改变成另一种，特别适用于飞机或巡航导弹的隐身。

20 世纪 90 年代，美国波音公司制造的“食肉鸟”隐身验证机，不但具有惊人的雷达隐身能力，还具有一定视觉隐身效果。该机采用了独创的类似变色龙的光致色变材料，进气道周围采用了反阴影设计。无论是在空中和地面，俯视、仰视和侧视等各种方位角度以及不同光线条件下，“食肉鸟”隐身验证机都充分呈现了与周围环境背景色自然和谐地融为一体的颜色。无论是在漆黑的夜里还是晴朗的白天，这种新型可见光隐身技术都能有效地融合在周围环境中，使飞机在一定距离上很难被目视发现。

此外，美国还在研制一种新型主动反照射复合材料隐身技术。该材料就像超薄的等离子电视一样，覆盖在飞行器外表面，不但能实现雷达隐身，还能根据周围的环境背景改变自身的颜色状态。


“食肉鸟”隐身验证机在空中飞行



停放在机库中的“食肉鸟”隐身验证机


具备一定可见光隐身能力的美国 B-2 轰炸机

NO.36　锯齿形尾喷管如何提高战机的隐身性能?

喷气式飞机的主要动力来自发动机排出的高温燃气，而尾喷管的作用就是使燃气进一步膨胀，继而产生反作用力将飞机向前推动。在此过程中，尾喷管的喷口起到了关键作用，不过对于军用飞机而言，外缘圆整的喷口在工作时会将燃气束成一道圆整的喷流，同一时间从尾喷口流经的高温燃气和冷

空气接触的时间是相同的，尾流的温度无法迅速降低，红外信号特别明显，这意味着会增加被红外线探测追踪（IRST）等感知系统探测的概率。因此，军用飞机需要对尾喷流进行降温处理。

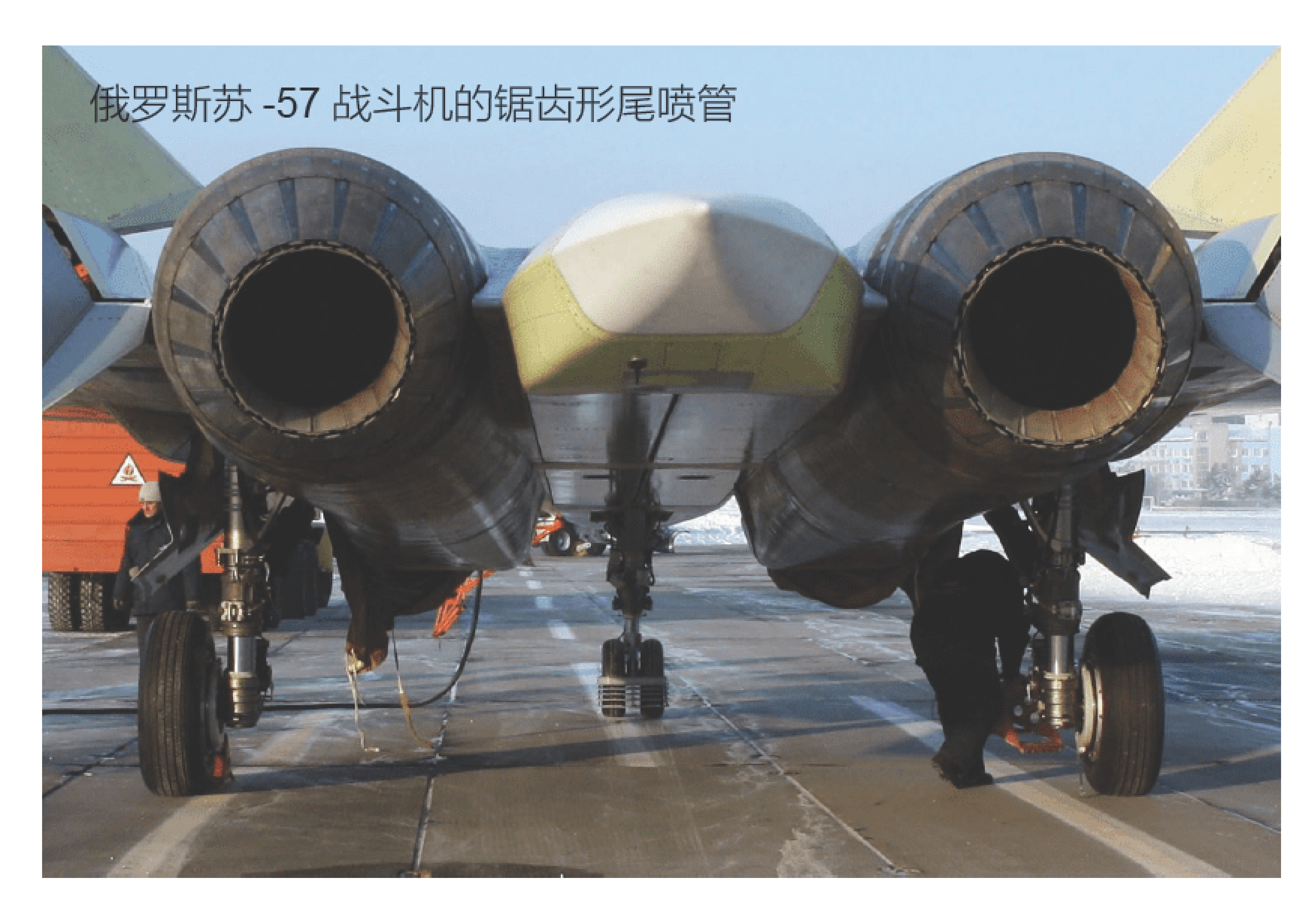
降低尾喷流温度的方法有很多，美国 F-117“夜鹰”攻击机选择将尾喷管喷口设计在机翼上表面、B-2“幽灵”轰炸机选择将冷空气引入排气系统、F-22“猛禽”战斗机选择采用小宽高比的二元尾喷口设计分散核心区域的尾喷流温度。这些方法都很有效，但是对于尾喷管直接裸露在外的第三代和第四代战斗机来说，上述方法显然不适用。为此，这些战斗机借鉴了大型民航客机的尾喷管设计技术。

大型民航客机将尾喷管喷口外缘进行锯齿处理，流经喷口的喷流会呈锯齿状散开，在不同的时间接触到环境中的冷空气，从锯齿缺口溢出的高温燃气会提前接触冷空气，分散开来的喷流和冷空气混合之后会显著降低尾喷流的温度，同时还能实现降噪的目的。需要说明的是，民航客机的尾喷管锯齿处理主要是为了降噪，而战斗机尾喷管锯齿处理则主要是为了降低尾喷流的温度，从而减小红外辐射信号，实现红外隐身目的。另外，锯齿形尾喷管还能在一定程度上提高战机的雷达隐身能力。

与机身、机翼、舱门开口等采用平行线外形的设计类似，锯齿形尾喷管可使反射的雷达波向斜方向散射，从而减少发动机正后方的雷达波反射信号特征，实现最大限度压缩后向雷达反射截面积，从而使尾追或者跟踪的敌机、雷达制导导弹难于搜索跟踪。由于技术简单粗暴，一些第五代战斗机也采用了锯齿形尾喷管，如美国 F-35“闪电Ⅱ”战斗机和俄罗斯苏 -57 战斗机。


美国 F-35“闪电Ⅱ”战斗机的锯齿形尾喷管


F-35“闪电Ⅱ”战斗机在高空飞行


俄罗斯苏-57战斗机的锯齿形尾喷管


苏-57战斗机在高空飞行

NO.37 隐身战斗机的内置弹仓有何设计难点？

内置弹仓是第五代战斗机的常见设计，而第三代战斗机和第四代战斗机一般没有内置弹仓，虽然部分战斗机设计了导弹凹槽，但是这种凹槽主要是为了固定导弹，而不是为了隐蔽导弹。

第五代战斗机之所以设计内置弹仓，主要是因为它需要兼顾隐身性能，内置弹仓是把导弹收入机腹内部，这样整架飞机的隐身效果就不会受到导弹的影响。虽然现在很多导弹也考虑到隐身化，但是当它们挂在外部挂架上的时候，难免会影响飞机的隐身效果。所以当需要确保隐身时，导弹就应该挂在内置弹仓中。

内置弹仓的设计难点

隐身战斗机内置弹仓的设计并不容易。即便是俄罗斯这样设计实力数一数二的航空强国，都没有完全解决隐身战斗机内置弹仓的设计问题。俄罗斯第五代战斗机苏 -57 就因为内置弹仓问题广受外界诟病，自 2010 年 1 月首次试飞以来，该机一直没有在公共场合展示过它的内置弹仓，也没有任何有关内置弹仓的照片流出。这种反常现象让媒体猜测苏 -57 战斗机根本就没有内置弹仓，也从侧面证明了俄罗斯隐身战斗机的内置弹仓设计存在诸多问题。

那么，内置弹仓的设计到底存在什么困难呢？首先是导弹的伸出问题。一般而言，隐身战斗机的内置弹仓位于机身中部。从空气流动和压强的关系可知，这个位置位于机身的低压区，也就是导弹在伸出的瞬间会受到一个向上的力。这个力的存在可促使导弹向上飞行，可能会被推回弹仓击中载机。目前，内置导弹的伸出方式主要有发射架转动伸出和弹射伸出两种。美国 F-22“猛禽”战斗机就采用了发射架转动伸出方式，其可靠性较高，但机械结构比较复杂，机构转动也需要一定的时间。

内置弹仓的另一个设计难点就是导弹脱离弹仓后的瞬间姿态控制问题。导弹在脱离弹仓后与战斗机保持相同的速度，此时导弹的发动机虽然还没有点火工作，但依然有较大的升力。在被弹出后，如果导弹是抬头姿态，就会有较大的迎角，从而产生较大的升力。该升力的存在同样会使导弹上升击中载机。如果导弹是低头姿态，则导弹会因升力不足而加速下降，从而影响导弹对目标的锁定以及发射的射程。


俄罗斯苏 -57 战斗机的机腹视角

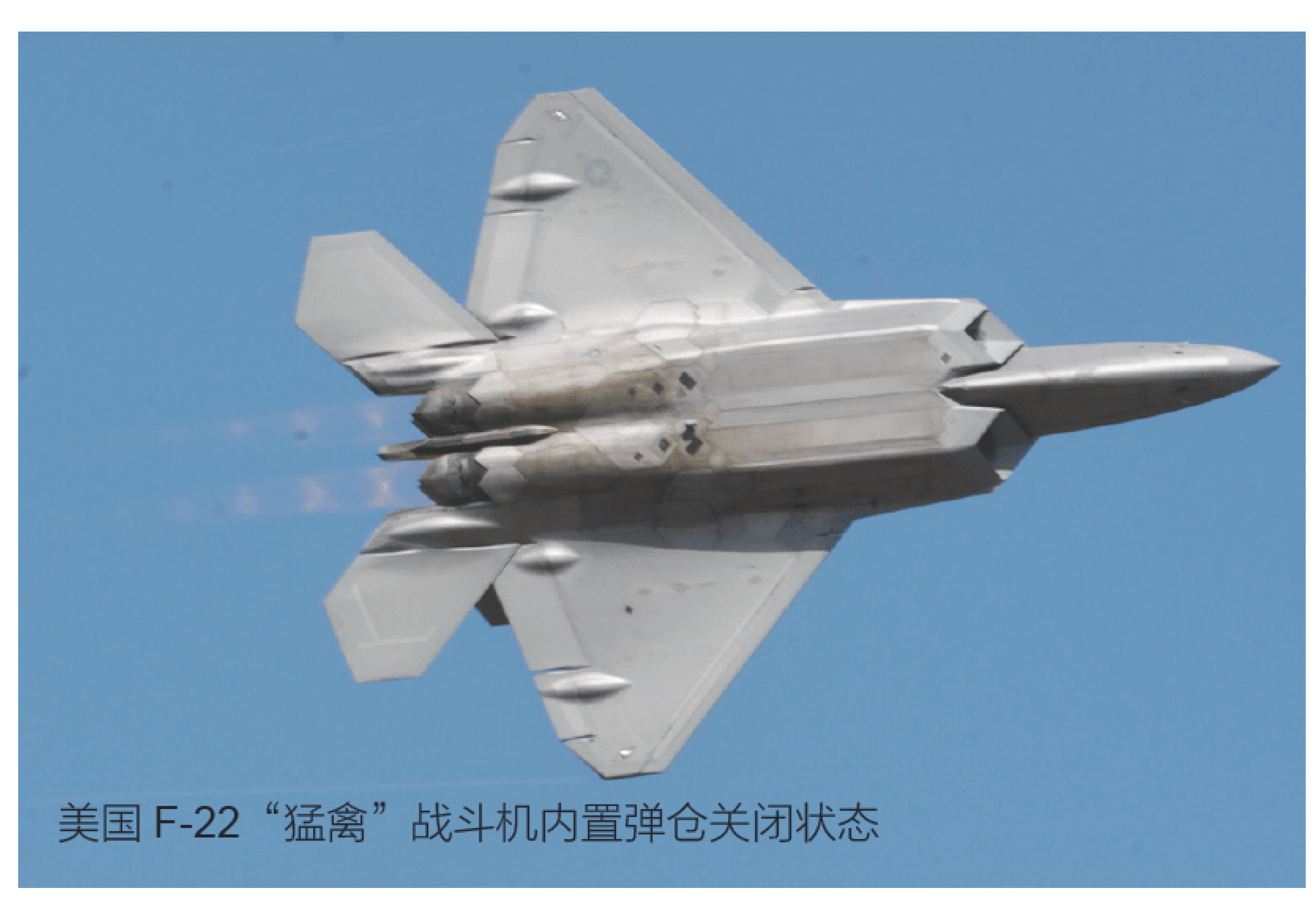

美国 F-35“闪电Ⅱ”战斗机的机腹视角

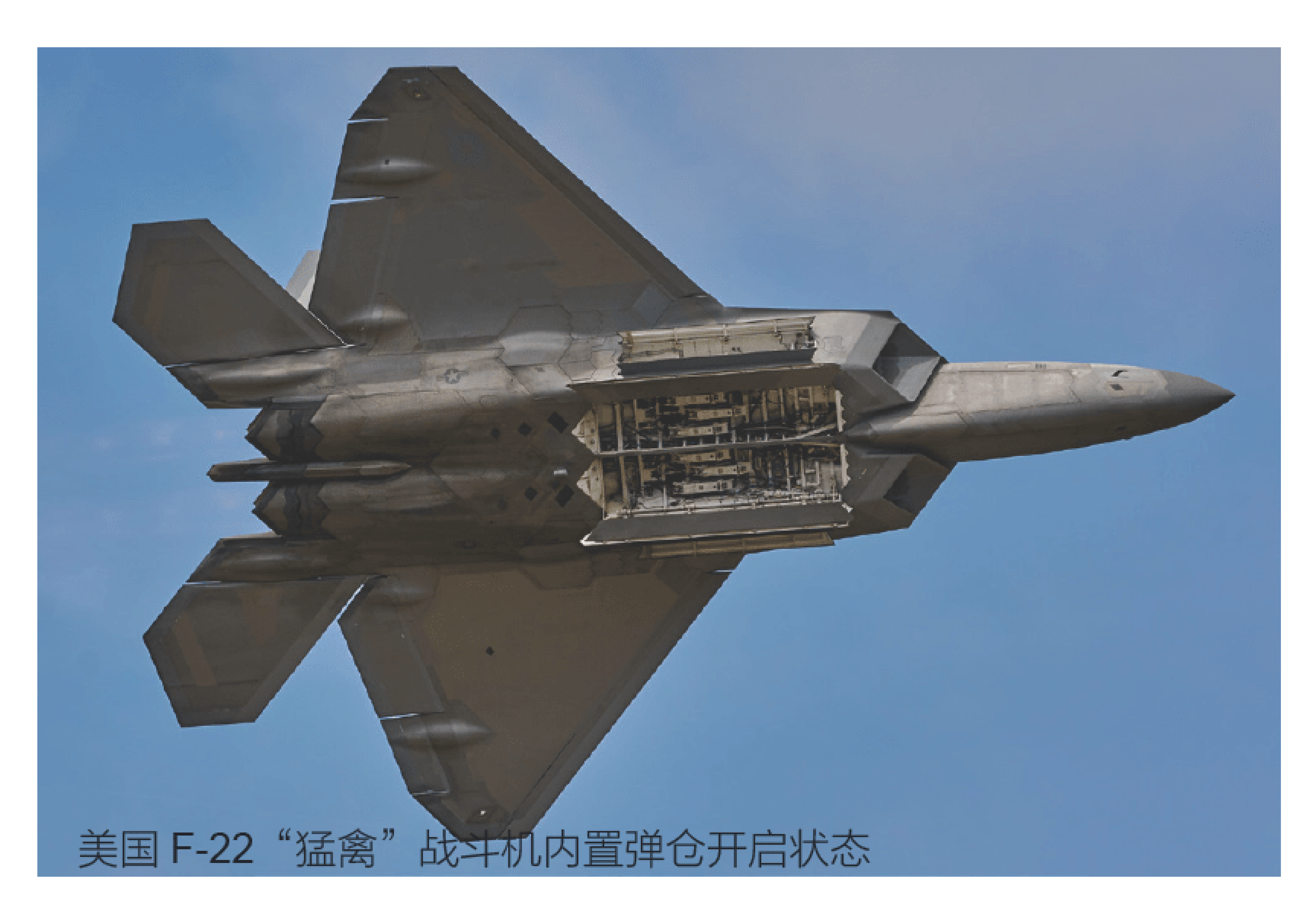
内置弹仓的不足之处

值得一提的是，内置弹仓也有它的不足之处，因为战斗机的内置空间是非常宝贵的，按照正常的思路，这些空间大部分应该优先用于配置引擎、内置油箱等硬件设备，以尽可能提升战斗机的飞行性能。所以战斗机上能够预留的内置弹仓空间相当有限，这就使内置弹仓可以容纳的导弹类型也非常有限。一些体积较大的远程空对空导弹或者巡航导弹很难装进内置弹仓，像副油箱这样的一次性用品也只能装置在外部挂架上。

因此，导弹内置和外置是需要视情况而定的，如果不需要考虑隐身性能，

则可以充分利用外部挂架，让战斗机的性能得到最大化发挥，而如果需要规避地面雷达和巡逻机侦测，进行隐蔽性的突防行动，则需要采用导弹内置的方式，尽量减少雷达反射截面积，避免被敌方发现。这两种导弹部署方式各有优劣，本质上也没有好坏之分，只是需根据实际情况作出调整。


美国 F-22“猛禽”战斗机内置弹仓关闭状态


美国 F-22“猛禽”战斗机内置弹仓开启状态

 NO.38　现代战斗机的涂装颜色有何讲究？

军用飞机的迷彩涂装在一战时就开始使用了，各国在其木制飞机表面的

蒙布上涂上橄榄绿色，从上俯视时，同绿色的森林、田野融合在一起，不易被敌机发现。二战期间，各国十分重视军用飞机迷彩涂装的系统研究，奠定了军用飞机迷彩涂装的基本理论。根据季节、地域、机种和任务的不同而采用不同迷彩涂装。如舰载机采用下浅灰白色、上深灰色，轰炸机多采用上绿色、下天蓝色，陆基战斗机采用两种不同颜色的变形迷彩，夜间战斗机采用黑色。20 世纪 70 年代后期，美国和英国开始对军用飞机涂装进行专题研究，主题是各种不同的制空迷彩。随后，其他国家也展开了类似的研究。



二战时期美国陆军航空队的 P-51“野马”战斗机



二战时期美国海军航空兵的 SBD“无畏”轰炸机

现代的战斗机，包括灰色涂装的战斗机，颜色都是经过伪装设计的，只

不过实际的伪装跟平常理解的有很大不同。在一般人看来，天空大多数时候都是蓝色的，所以战斗机也应该采用蓝色涂装。然而，实际情况却是蓝色涂装不仅无法获得较好的伪装效果，反而会让战斗机像灯塔一样明显易辨。这个问题的关键在于，战斗机所处的高度发生变化后，对它的视角也会发生变化。随着高度角度变化，飞机的背景颜色也会发生变化。在这种不断变化的对比度下，单纯涂成蓝色的战斗机会非常显眼。

如果处在战斗机上方，从上面俯视战斗机，那战斗机上部应该和地面是一样的背景颜色，如果是天空一样的蓝色，自然就露馅了。如果处在同一高度，天空背景颜色不是蓝色而是灰色。因此，现代战斗机普遍采用灰色迷彩涂装。

美国 F-117“夜鹰”攻击机因为要在夜间出动执行任务，所以开始被涂成了黑色，美国空军认为涂成黑色可以最大限度地发挥 F-117 的隐身性能。但实际的观测结果却让人大感意外。夜间的天空，背景颜色不是纯黑色，而是浅棕灰色。夜间行动采用棕灰色涂装的隐蔽性更好。除非在完全没有星星、月亮的黑夜条件下，才可能出现纯黑色背景。即便如此，纯黑色也不是伪装色的最好方案。根据军事演习和实验测试数据，夜间目视搜索时，纯黑色比红色更易目视识别。这证明深色涂装不适合在战斗机等飞机上使用。正是因为深颜色的目视识别效果好，黑色和红色成为航空飞行识别标准颜色。

值得注意的是，现代战斗机完全不可能依靠颜色实现完全隐身伪装。所以，各国的战斗机在涂装方面都讲求实用性。迷彩保护漆的颜色会让战斗机在某个高度范围内很难被发现，这通常是战斗机自身的主要活动范围。一旦超出范围，就很容易被辨识。



采用灰色涂装的德国“狂风”战斗机


采用灰色涂装的瑞典 IAS 39“鹰狮”战斗机



NO.39 战斗机发动机比轰炸机发动机更难制造的原因是什么?

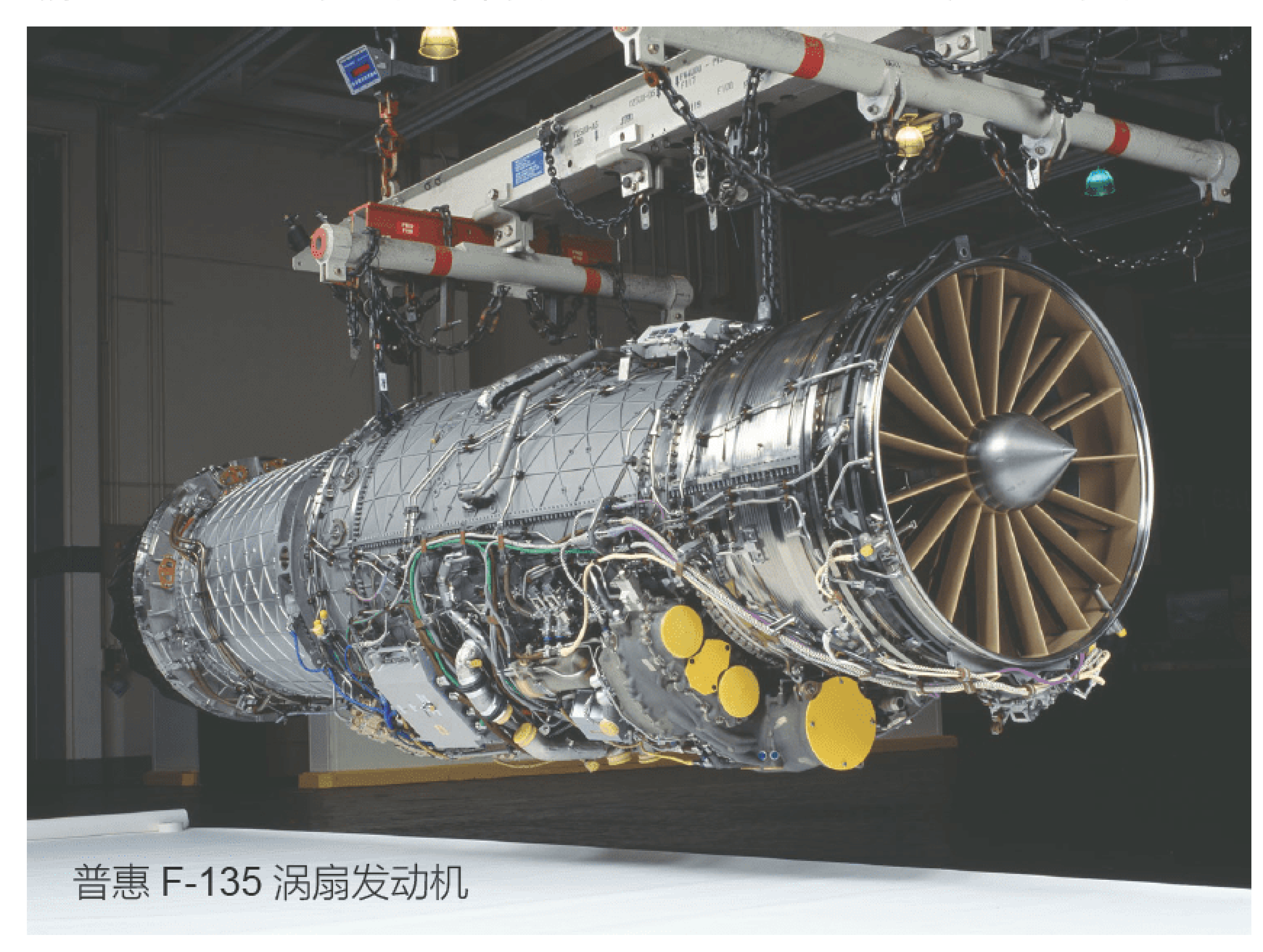
航空发动机素有“现代工业皇冠上的明珠”之称，是基础科学、技术的集大成者，难度和垄断一直是它的代名词。而在航空发动机中，战斗机发动机往往比轰炸机发动机的制造难度更大。究其原因，主要是因为轰炸机和战斗机的作战任务不同所导致的。

从某种层面上来说，轰炸机只是一种运输机，专门用来运输武器，对机动性要求较低，对航程要求较高；而战斗机是空战的直接参与者，对飞机的速度、机动性都有着极高的要求，战斗机的机动性甚至可以决定一场空战的胜负。

最早期的喷气式战斗机使用的是涡喷发动机，这种发动机的特点是推力大，但非常耗油，所以那时候的喷气式飞机普遍航程较短。后来开发出来更为省油而推力也能达到要求的涡扇发动机。

为了保证机动性和超音速飞行，战斗机一般使用小涵道比的涡扇发动机。涡扇发动机外涵道较小，比较接近涡喷发动机，可以提供更大的推力，保证战斗机的机动性。而且战斗机使用的小涵道比涡扇发动机还会在发动机后部加装加力燃烧室，这样以来核心机的燃烧温度会达到一个很高的数值，对发动机叶片的材料以及制造工艺都有超高的要求，因此制造难度极大。

战斗机发动机可以说是最难制造的发动机，世界上拥有战斗机发动机制造能力的国家屈指可数。目前，世界上最先进的战斗机发动机是美国普惠公司研制的装备在 F-35“闪电Ⅱ”战斗机上的 F-135 涡扇发动机，该发动机是基于 F-22“猛禽”战斗机的 F-119 涡扇发动机的核心机和主要结构研制的新型发动机，推力超过 18 吨，推重比超过 10。为了进一步提升 F-135 发动机的性能，普惠公司又推出了 F-135 发动机的增推版，推力达到惊人的 23 吨，成为目前人类造出的第一款单台推力超过 20 吨的战斗机发动机。



普惠 F-135 涡扇发动机



测试中的普惠 F-119 涡扇发动机


高速飞行的 F-35“闪电Ⅱ”战斗机

与战斗机相比，轰炸机不需要进行空中格斗，而是强调起飞重量和航程，所以现代轰炸机使用的多是大涵道比涡扇发动机。大涵道比涡扇发动机的特点是：使用寿命长，经济省油，可以在搭载同等重量燃油的条件下给轰炸机带来更远的航程，从而达到战略轰炸的目的。由于轰炸机发动机取消了加力燃烧室，大大简化了发动机结构，降低了对高温材料的性能要求，从而降低了研制难度和风险。此外，大涵道比发动机由于外函道空气流量大，能够较快地冷却内机匣，延长发动机寿命，进一步降低对材料的性能要求，发动机制造工艺难度进一步降低。

现在也有少数轰炸机使用的是涡桨发动机，如俄罗斯图 -95“熊”轰炸机。涡桨发动机也拥有类似于大涵道比涡扇发动机的特点，只不过涡桨发动机噪声极大，所以多用于不考虑任何用户体验的军用飞机。


俄罗斯图 -95“熊”轰炸机仰视图

无论是大涵道比涡扇发动机还是涡桨发动机，其制造难度都不如要扛住超高温度和破坏性使用的小涵道比战斗机发动机。所以，轰炸机发动机

的制造难度要低于战斗机发动机。当然，难易程度只是相对而言，即便是轰炸机发动机，也不是一般国家所能制造的。



NO.40　变循环发动机与传统涡扇发动机相比有何优势?

变循环发动机（Variable Cycle Engine，VCE）是指在一台发动机上，通过改变发动机一些部件的几何形状、体积或者位置，实现不同热力循环的燃气涡轮发动机。

从 20 世纪 60 年代开始，国外各大航空发动机公司均在不断地进行变循环发动机的概念、方案及相关技术的研究验证，而对变循环发动机研究时间最为持久、程度最为深入、取得较大成果的是以通用电气公司为代表的美国航空界。从 YJ101 开始，通用电气公司研制了一系列变循环验证机。其中，YF-120 变循环发动机参加了 F-22“猛禽”战斗机发动机选型，最终败给了普惠公司的 F-119 涡扇发动机。此后，通用电气公司和罗尔斯 • 罗伊斯公司联合研制了 YF-136 变循环发动机，并参加了 F-35“闪电Ⅱ”战斗机的发动机选型，再次败给了普惠公司的 F-135 涡扇发动机。虽然两次落败，但是通用电气公司仍然没有放弃变循环发动机的研究工作。一旦时机成熟，它就将装备美军下一代战斗机。那么，变循环发动机与现役战斗机惯用的涡扇发动机相比究竟有何优势?

航空发动机技术提升的核心在于——如何提高燃油使用效率。喷气式飞机的原理是将空气吸入发动机后和燃油混合加热，而后高温高压气体向后喷出，按照牛顿第三定律，飞机就可以获得一个反推力。但这个高温高压气体本身就拥有很大的能量，也就是说，这些能量被白白浪费掉了，但有时候为了机动性则不得不这样做，以往的飞机，往往是涡喷发动机就只能是涡喷模式工作，是涡扇发动机就只能涡扇模式工作。在飞机航行的整个过程中，有很多路程并不需要使用这种高油耗率的工作方式。而在靠近战场时，为了接敌，往往需要高速机动。为了机动空战，则需要超音速飞行模式。变循环发动机就是把这三种模式结合起来，合理规划，获得了最佳的使用效果。

一般来说，喷气式发动机结构从前往后依次是进气道、压气机、燃烧室、涡轮和喷口，运转过程分别是吸入空气、空气压缩增压、混合燃烧、推动涡轮旋转和尾部喷气做功。变循环发动机采用涡轮风扇的基准模型，将气流分入 3 个涵道。其中相对靠外的 2 个涵道中设有挡板，它们可以改变涵道直径，

通过组合搭配产生不同的工作模式。例如经济巡航时，2 个调节板向下调节，挡住两个涵道的气流，发动机此时为涡桨发动机模式；当需要超音速机动时，调节板 1 向下、2 向上，组成涡扇发动机；当需要超音速巡航时，调节板 1、2 均向上，使其成为一台涡喷发动机。

根据通用电气公司官网宣传资料，使用这一技术后，在同等燃油的条件下飞机的滞空时间可以提高 50%，航程增加 33%，减少 25% 的燃油消耗率，达到60%的燃油热吸收率。不过，变循环发动机技术看起来简单，但其实在工程上实现起来十分困难。发动机工作在高温高压和极高转速的情况下，最好不要有任何的结构变换，否则会带来发动机部件的损伤，导致发动机出现安全问题。挡板的偏移也会带来气流的瞬时畸变，导致发动机工作不稳定甚至停车。



展览中的通用电气 YF-120 变循环发动机



展览中的通用电气 YF-136 变循环发动机

因此，从其工作模式上来看，变循环发动机对材料的耐高温性、强度和轻量化都有较高的要求，同时要求加工精度也较高，以更好地保证气流流动的平稳性，减少制造误差对核心机的扰动。



NO.41　单发战斗机与双发战斗机有何区别？

按发动机数量不同，现代战斗机主要分为单发战斗机和双发战斗机两种。各国军方和民间一直都有两种战斗机孰优孰劣的争论，但并没有一个明确的

结论。事实上，单发战斗机与双发战斗机各有长短，很难简单分出强弱。

从空间角度来看，单发战斗机使飞机布置更向中间集中，主要设备和部件都围绕中轴线布置，而双发战斗机（不管发动机之间采用宽间距还是窄间距布置），相比单发战斗机，其机身布局都更向翼展方向发展，即看上去更宽、更薄，因此双发战斗机的内部空间往往较大，内部载油量往往大于单发战斗机，其机翼面积也往往更大，翼载荷也往往优于单发战斗机，使其航程更远。俄罗斯苏 -27“侧卫”战斗机就是双发战斗机中的典型代表。



俄罗斯空军苏 -27“侧卫”双发战斗机（上）和英国空军“台风”双发战斗机（下）



捷克空军装备的 JAS 39“鹰狮”单发战斗机

从重量上来看，由于单发战斗机只需围绕一台发动机展开设计，所以只要设计一套进气道、发动机舱、发动机驱动的液压和发电系统、发动机引气系统，通过大幅减少冗余结构和系统降低了结构重量。

从挂载上来看，单发战斗机的机翼和机腹空间往往更局促，可用挂点和空间小于双发战斗机。例如，瑞典 JAS 39“鹰狮”战斗机的挂载设计非常合理，但限于其单发的狭小空间，加上翼尖也仅有 7 个挂点；而采用双发设计的俄罗斯苏 -35“超侧卫”战斗机，则有 12 个挂点。


俄罗斯苏 -35“超侧卫”双发战斗机

从机动角度来看，双发战斗机由于机身宽度较大，2 台发动机之间存在一定距离，力矩较大，因此在滚转速率上相对较慢；而单发战斗机在滚转机动上比较有利，美国 F-16“战隼”战斗机的滚转速率就远远大于俄罗斯苏 -27“侧卫”战斗机。至于两种战斗机在其他方面的性能表现，要看气动设计与推重比，与发动机数量的直接关系不大。



美国 F-16“战隼”单发战斗机

从安全角度来看，单发战斗机由于使用一台发动机，因此对于发动机可靠性的要求比双发战斗机更高，双发战斗机的一台发动机发生故障时，也可以用另外一台发动机实现降落，安全系数比单发战斗机更高。不过，随着涡扇发动机可靠性的不断提高以及对以往发动机事故的研究，这种观点正在被摒弃。美国空军的研究报告显示，在双发战斗机发生的许多发动机故障中，常会出现故障发动机危及另一台完好发动机的例子。在空战中若一台发动机被击中受损，产生的破片很可能会对另一台发动机造成损伤，导致另一台发动机出现故障甚至爆炸。

从成本角度来看，由于少了一台发动机和相关的附属设备，单发战斗机的制造和采购成本自然低于双发战斗机（仅限同级别战斗机）。另外，单发战斗机的操作和维护成本通常也低于双发战斗机。

NO.42 双发战斗机极少将发动机上下排列的原因是什么？

各国现役的双发战斗机几乎都采用发动机左右排列的设计方式，而不是上下排列。事实上，并不是没有人尝试过上下排列发动机，而是这种设计存在致命缺陷，因此很多国家都放弃了这种设计。

如果说法国设计的飞机是科技与艺术的完美结合，那么英国的设计则充满了怪诞的想法。在喷气式时代的早期，英国的设计给人最深刻的印象就是怪异，如采用双尾梁布局的“海雌狐”以及发动机上下排列的“闪电”战斗机。其中，“闪电”战斗机是英国第一种 2 马赫战斗机，在 20 世纪 60 年代作为“过渡性装备”开始进入英国空军服役，而且在战斗一线一待就是 20 多年，直到 1988 年才从一线战斗部队退役。

“闪电”战斗机是为数不多发动机上下排列的飞机，这是在发动机性能不足的情况下使用的设计，可以满足英国为拦截苏军战略轰炸机而需要的高空高速性能。发动机上下排列可以使推力水平上保持与前进方向一致，在一台发动机推力不足或停车时仍然可以轻松控制。此外，发动机上下排列，机身宽度会大幅度减小，有利于追求高速性能。因此，“闪电”战斗机的高空高速性能在第二代战斗机中是出类拔萃的。

发动机上下排列也有很大的局限。首先是机身狭窄导致进气道不易布局，进气效率受影响，需要付出一定的结构代价。“闪电”战斗机使用机头进气的设计，这非常不利于装备大型电子系统，只能更加依赖地面引导。上下排

列还会引起两台发动机布置空间上的冲突和掣肘，距离太大，厚度增加，被雷达锁定的概率就会大大增加，生存能力下降；距离太小，两台发动机之间机械物理影响太大，例如散热、共振等，处理不好会给机体造成抗疲劳过载，减少飞机的使用寿命甚至出现解体危险。狭窄而高耸的机身在进行水平机动时比扁平机身更为困难，对于强调亚音速空战的第三代战斗机而言并不是理想的选择。上下排列还不利于发动机的养护作业，会增加维护时间。另外，由于纵向需要安置的东西太多，驾驶舱雷达前轮甚至机炮和航电单元，必然会挤占发动机进气道，让发动机的燃烧效率大打折扣。

综上所述，发动机上下排列弊大于利，其优势已不是水平布置发动机无法克服的，而缺点却越来越显著。所以，迄今为止只有“闪电”战斗机采用发动机上下排列的布局，未来技术有革命性突破之前很难再出现这种布局。



“闪电”战斗机后方视角


“闪电”战斗机在高空飞行


“闪电”战斗机准备起飞


发动机左右排列的美国 F-4“鬼怪Ⅱ”战斗机

NO.43　战斗机的超音速巡航能力有何作用？

巡航一词最早来源于水面舰只，意思是以最经济的速度航行。飞机出现后，没有创造自己的专有名词，而是沿用了舰船的很多名词。虽然飞机的飞行时间和速度、飞行状态（空间包线）变化已经不是舰船所能比拟的，但是巡航的概念依然与舰船相似。所谓超音速巡航，就是战斗机在发动机不开加力的条件下，以超过 1.5 马赫的速度进行 30 分钟以上的超音速飞行。一般来

说，具有超音速巡航能力是第五代战斗机所必须具备的技术指标。

目前的常规战斗机，只有打开发动机加力时才能做超音速飞行，耗油量会猛增 1 ~ 2 倍。超音速飞行时间只有几分钟，而且机动性也较差。而具有超音速巡航能力的战斗机，可以克服以上不足，大大提高其作战效能。具体来说，超音速巡航能力具有以下战术价值。

第一，可以用更快的速度飞抵战区或者接敌。常规第四代战斗机只能以 0.6 ~ 0.8 马赫的速度抵达战区，在发生应急事件的情况下将失去最佳时机，以致延误战机。而具有超音速巡航能力的飞机，可以将去航或者接敌时间降低 1/3 甚至更多，无疑大大增加了作战体系的反应能力。这一点对于国土防空截击作战以及争夺制空权格外重要。尤其是对于国土、领海广袤的国家，不可能密集地部署军事基地，这就对军用飞机的快速到达能力提出了很高要求，因此超音速巡航的意义更大。

第二，可以扩大本机机载武器杀伤包线，缩小敌机对本机杀伤包线。对于第四代战斗机来说，除非在接敌之前开加力加速，不然基本是处于亚音速状态。而具有超音速巡航能力的第五代战斗机则可以长时间保持在超音速巡航状态下发射武器，此时武器的初速度更大，能在更短的时间内和更大的范围内攻击目标。而且在目标保持高速，尤其是超音速飞行态势下，空对空导弹需要更多的能量和更大的过载才能命中目标，超音速巡航能力无疑降低了敌方导弹的命中概率和有效射程。

第三，压缩敌方反应时间。超音速巡航能力与隐身能力相结合，对于敌方防空武器系统具有极大的突防效果。一方面飞机雷达反射截面积的大幅度下降导致敌方防空传感器出现大量探测“漏洞”，大大降低了敌方雷达的有效探测距离。另一方面，超音速巡航战斗机在通过敌方雷达有效探测距离时，所需时间大大缩短，导致敌方即便发现了目标也没有足够的时间组织防空导弹发射或者召唤战斗机拦截。

第四，有利于红外隐身。一般第四代战斗机在进行中距拦射之前，都需要开加力进行加速，也需要保持加力状态进入近距格斗，以增加和补充高过载条件下的飞机动能。而航空发动机的加力状态红外特征比常规条件下明显很多，例如 F-14 机头下的红外传感器能在 140 千米发现开加力的目标，而不加力的则只有 40 ~ 50 千米。在作战中开加力也更容易被红外制导导弹在更远的距离上锁定和跟踪。

战斗机要实现超音速巡航，主要措施有两条：一是采用先进的气动外形设计，使飞机的阻力尽量减少。翼身融合体技术就是一种，它能提高飞机的

升阻比，减少超、跨音速波阻；二是采用性能先进的发动机，使发动机推力最大，具有较好的速度特性。从目前研制的水平来看，最佳方案是选用小涵道比加力涡扇发动机。



具备超音速巡航能力的美国 F-22“猛禽”战斗机



高速机动的 F-22“猛禽”战斗机


朝阳下的 F-22“猛禽”战斗机



F-35“闪电Ⅱ”战斗机具备一定的超音速巡航能力

NO.44　现代战斗机可以携带多少燃油？

现代战斗机的机身长度通常在 10 米左右，除去发动机和航电设备占用的空间，几乎没剩下多少空间可以用来装载燃油。所以，战斗机设计师会想

方设法地利用剩余空间装载更多的燃油，油箱基本上是见缝插针，飞机内部只要不安装其他设备的空间就会装油箱。由于机身遍布燃油，战斗机也被戏称为“空中油箱”。

战斗机的油箱一般由机身的主油箱与机翼、垂直尾翼等处的辅助油箱组成，每种飞机因为体积、内部电子设备安装差异、机体结构差异而造成机内的油箱分布不尽相同。其中舰载机是受影响最大的一种，因为舰载机的机翼需要折叠，造成机翼有 1/2 的地方不能安装油箱，白白浪费了宝贵的燃油空间。而采用全动垂直尾翼的俄罗斯苏 -57 战斗机，为了保证传动轴的牢靠，很可能放弃了在垂尾设计油箱。而美国 F-22“猛禽”战斗机这种拥有大三角翼的飞机，机翼油箱就要比 F-16“战隼”战斗机这样的梯形翼大得多。

对于很多强调高速性能的战斗机来说，由于机翼很薄，所以机翼辅助油箱的容积就会小很多，而机身油箱占的比重会很大。有些战斗机的机身油箱能够占到全部内部燃油的一半左右，甚至更多。

许多战斗机在后续改进时，也曾想方设法增加飞机的内部油箱，比如俄罗斯米格 -29SMT 战斗机和以色列版 F-16 战斗机专门在机背设计了一个凸起的保形油箱，这让米格 -29SMT 战斗机的最大航程达到了苏 -27“侧卫”战斗机的 2/3，摆脱了“机场保卫者”的恶名，但是代价就是影响了气动外形，造成机动性降低。而苏 -35“超侧卫”战斗机则取消了苏 -27 战斗机的背部减速板，将这个位置改为油箱，多种苏 -35 战斗机改进型的内部燃油量达到 11 吨之多。

与俄罗斯战斗机相比，F-22“猛禽”战斗机的油箱设计更能体现出美国强大的技术实力，F-22 战斗机在机体远小于苏 -27 战斗机且要容纳内置弹仓的情况下，通过先进的航电设备集成节约空间，为 F-22 战斗机设计出载油量高达 8.8 吨的内部油箱，这已经达到了苏 -27 战斗机的内油标准。巨大的载油量让 F-22 战斗机即便使用 F-119 涡扇发动机这样的高油耗发动机，依然拥有 800 千米的作战半径（包含 15 分钟的超音速巡航）。

值得注意的是，战斗机的油箱供油时，都是由机体的主油箱给发动机供油，而其他部位的辅助油箱则通过油泵将燃油补充到主油箱内部。因为辅助油箱通常没有独立供油能力，只有主油箱才能给发动机直接供油。主油箱通过特殊设计，能够保证战斗机在做高机动过载等激烈动作时都能保证恒定的供油。当主油箱的燃油消耗到一定的量时，辅助油箱会将自己的油补充到主油箱中，也就是边消耗边补充，这样可以保证主油箱的燃油一直处于比较健康的状态。



F-22“猛禽”战斗机拥有较大的机翼油箱



米格 -29SMT 战斗机在机背设计了保形油箱



低空飞行的苏 -27“侧卫”战斗机



苏 -35“超侧卫”战斗机在高空飞行



NO.45 战斗机的保形油箱与常规副油箱相比有何优点？

众所周知，一架飞机能够飞多远，最根本的决定因素就是载油量。载油量大，飞机就飞得远；载油量小，飞机就飞得近。但是这也有一个问题，战斗机的机体空间是有限的，真正的燃油储存空间并不是很大。通过机翼整体油箱，可以尽量增加载油量。当依然不能满足航程要求时，这就需要最简单、快捷、经济的方法——加挂副油箱。

虽然副油箱会增加战机的航程，但是常规的副油箱用途单一，影响战斗机的机动性，破坏隐身效果，并且还要占用战机宝贵的武器挂架。另外，战斗机在进入战区之前，或是遇到紧急战况，就需要把副油箱抛掉，防止其影响机动性能，而且在准备空战的时候，无论副油箱内燃油是否用完都要抛掉，非常浪费燃油。

为此，航空专家们设计了一种新型副油箱，也就是保形油箱。这种油箱的设计思想是在保持或不大改变战斗机整体流线型（保形）气动布局的前提下，紧贴机体添置贮存燃油的容器，使容器圆形表面与机翼或机身的表面相切，从而减小飞行阻力和雷达反射面积。具体来说，保形油箱与常规副油箱相比主要有以下优点。

第一，扩大燃油贮存总量，增加飞机航程。对于战斗机、攻击机和战斗轰炸机等高速飞机而言，它们机翼的展弦比小，不便于在机翼内安装主油箱，安装在机身内的主油箱贮存容积极为有限，不适应现代空中作战的远程要求，而安装保形油箱能增大飞机燃油贮存总量，提高飞机航程和机动能力。不仅如此，保形油箱中大都装有增压系统和油泵式供油系统，能在各种情形下为发动机提供燃油。

第二，维持战斗机整体流线型不变，减少飞行阻力。流线型物体在空气中运动时所受的阻力要比不规则凸出型物体或外挂型物体所受阻力小得多。也就是说，流线型保形油箱相比外挂副油箱阻力可大幅下降。以 F-15C 战斗机为例，其保形油箱优秀的外形设计恰好填补了进气道外壁和翼根之间的空间，与飞机的外形融合为一体，使飞机在亚音速飞行时不增加飞行阻力，即使是超音速飞行阻力增加也不大，不会影响飞机的载荷系数和速度极限。

第三，增加装载平衡，提高飞行稳定性。在战斗机上配置油箱时，除考虑油量容积外还必须考虑战斗机重心位置和容许变化范围。保形油箱有效地缩短了副油箱到战斗机重心的距离，增大了左右油箱油量容许变化范围，增

强了战斗机的稳定性。机翼下的副油箱因为远离战斗机的中心轴线，载满燃油时，战斗机左右平衡的难度系数较大。而保形油箱一般紧贴机身，与战斗机重心点的距离较近。战斗机摆动时，保形油箱因力臂短而产生的摆动力矩较小，战斗机自然就稳定得多。虽然战斗机一般都有平衡输油系统，但飞行中难免出现战机左右发动机组耗油量不等，而导致出现左右油箱剩油量不等的情况。相比副油箱，保形油箱距战斗机重心较近，左右油箱油量不等而产生的转动力矩就不会很大，这样就增大了左右油箱油量容许变化范围，使飞行更为安全可靠。

第四，减少雷达反射截面，加强隐身能力。合理设计战斗机外形，对于减小其雷达反射截面有决定性的作用。而战斗机安装适当的保形油箱，不仅不会增加战斗机的雷达反射截面，而且还能减少战斗机整体雷达反射截面。例如，F-15C 战斗机上的保形油箱不仅可以避免进气道与外壁和翼根之间垂直相交的截面，使油箱与飞机的外形融合为一体，还可以避免副油箱的反射截面，减小反射源数量，使机身形成平滑过渡的曲线形体。

第五，增加装载空间，提高载弹能力。一般来说，战斗机通过保形设计可以让出副油箱所占用的武器装载空间或挂载位置，甚至可以创造出新的武器挂架，从而提高载弹能力。例如在设计 F-15C/D 战斗机的保形油箱时，为了增加挂架，又不影响原先进气道下的 4 个半埋式的“麻雀”导弹挂架，设计人员在保形油箱下方前后增加了 2 个挂架，可以挂载“麻雀”导弹，也可以挂载航空炸弹。后来在设计 F-15E 时，设计人员又重新安排了保形油箱下方的挂架：最下方安装了一体式挂架，其中整合了 3 个小挂架，在一体式挂架上方又增加了 3 个单独的挂架，这样每个保形油箱就有 6 个挂架，每个挂载能力达 454 千克。

除上述几点外，保形油箱的优点还有很多。例如，因为保形油箱大都使用了隔舱化设计，它们除了能装载燃油还可以安装侦察传感器、雷达探测干扰设备、激光识别器、微光电视设备和侦察照相机等额外装备。

小贴士

虽然保形油箱的优点较多，但它也不是毫无缺点。保形油箱多是半永久性安装的，在保形油箱与机身之间的缝隙用密封条填补，将其拆下来的概率都不大，更不用说飞行中投掷了。不能投放的保形油箱会增加战机的重量，从而影响战斗机的机动性。


美国海军勤务人员正在搬运副油箱


携带副油箱的美国 F-16“战隼”战斗机



携带副油箱的英国“台风”战斗机



设有保形油箱的 F-15C“鹰”式战斗机

 NO.46　战机的油箱如何实现安全防爆？

燃油是现代社会不可或缺的主要能源之一，使用非常广泛。众所周知，燃油是易燃易爆的危险品，车辆失事后起火甚至爆炸事件在日常生活中并不鲜见，在影视剧中更是司空见惯。为此，许多人都有这样一个疑问：战机的油箱可以说是四处分布，在激烈空战中被击中的概率很大，再加上战机巨大的载油量，飞行员岂不是相当于坐在一个随时可能爆炸的大油罐上面？其实，关于油箱的安全防爆问题，战机设计师们也考虑到了，并采取了许多措施来防止这一危险的发生。

目前，欧美国家的战机主要有两类油箱防爆装置：一是采用抑爆材料，如聚氨脂泡沫和铝箔网，属被动式防爆装置；二是采用惰化系统，如氮气和海伦惰化系统，属主动式防爆装置。惰化系统需要一套控制系统，整个装置显得比较复杂，有的惰化系统需要提供一套地面供应源设备，成本较高。以美国为例，其在海伦惰化系统方面做了大量的研究工作，并在 F-16“战隼”战斗机上进行了试验。为了确定海伦和空气的混合比、海伦对燃油的污染以及海伦对发动机燃烧的影响，美国投入了大量资金并进行了大量试验才得出结论。

聚氨脂泡沫材料

由于惰化系统技术复杂，世界上绝大多数军用飞机都采用以聚氨脂泡沫材料填充油箱的方法防止油箱爆炸，如苏-27“侧卫”战斗机、米格-29“支点”战斗机、F-105“雷公”战斗轰炸机、F-4“鬼怪Ⅱ”战斗机、C-130“大力神”运输机、F-15“鹰”式战斗机等。聚氨脂泡沫材料装填油箱，优点是实施简便，减少后勤保障，且具有全天候保护飞机的能力。不过，聚氨脂泡沫材料缺乏水解稳定性，在极端的温度和湿度条件下容易出现问题。当其分解时，燃油系统一旦受到污染，容易堵塞油滤。

铝箔网材料

为了克服聚氨脂泡沫材料的不足之处，美国开始研究一种在高温高湿条件下不产生水解作用而不破碎的材料，其结果就是铝箔网材料。这种材料是目前最为先进的抑爆材料，它具有泡沫充填材料的被动防爆性，无须后勤保障的优点；同时，因其金属特性，在工作温度方面没有限制，具有水解稳定性，并且在加油的过程中不易产生静电。

油箱发生爆炸通常是由于燃油的挥发性气体快速燃烧，释放出大量热量，使油箱内的压力急剧增高，超过了油箱本身允许承受的压力。油箱中放置铝箔网材料后，由于该材料的网孔组成了蜂窝状的结构，把油箱内腔分成许多很小的“小室”，这些“小室”可以遏止火焰的传播。同时，这种蜂窝结构在单位容器内具有很高的表面效能，从而具有极好的吸热性，可迅速将燃烧释放出来的绝大部分热量吸收掉，使容器内的压力值增高不大，从而避免发生爆炸。



美国 F-105“雷公”战斗轰炸机





美国 F-15“鹰”式战斗机



美国 C-130“大力神”运输机



俄罗斯米格 -29“支点”战斗机编队



NO.47 美国允许出口 F-35 却禁止出口 F-22 的原因是什么?

F-22“猛禽”战斗机是世界上第一款第五代战斗机，其先进的性能和优越的战斗力让不少国家都非常眼馋，可是根据美国一项法令规定，F-22 战斗机却是禁止对外出口的，也就是说现在除了美国空军在使用 F-22 战斗机之外，其他国家想买都买不到。然而，与 F-22 战斗机颇有渊源的 F-35“闪电Ⅱ”战斗机却能大量出口。如果说美国禁止出口 F-22 战斗机是为了防止技术外泄，为什么又允许出口 F-35 战斗机?

F-22 战斗机和 F-35 战斗机都是洛克希德 • 马丁公司参与开发的隐身战斗机，就技术渊源的角度看，两者的确有某种继承关系，但是 F-22 战斗机的开发者还有著名的波音公司，波音公司也是美国主要的航空工业巨头之一。美国选择让两家航空工业顶级集团共同研发 F-22 战斗机，说明它是一款被寄予厚望的重要机型。而从时代的角度看，F-22 战斗机发展于 20 世纪 80 年代，当时的历史背景确实赋予 F-22 战斗机重要的任务使命。所以，F-22 战斗机受到重视是理所当然的。

由于 F-22 战斗机是世界上第一款能够充分规避雷达探测的隐身战斗机，其技术具备高度的机密性，所以美国出台了禁止 F-22 战斗机出口的法案。为了弥补波音公司在隐身发展方面的技术投入，美国允许波音公司发展具备部分隐身能力的 F-15SE“沉默鹰”战斗机，并允许其出口。

与 F-22 战斗机不同，F-35 战斗机本身就是基于美国“联合攻击战斗机”计划发展起来的开放式空基平台，包括美国在内的 10 个国家为该机的研发贡献了技术和资金。因此，F-35 战斗机的发展本来就是为了寻求一种共同使用的新机型，其重要内涵是实现美军和盟友之间的高效互动。在这一理念的引导下，F-35 战斗机获得了合理的出口许可证。

从性能的角度看，虽然 F-35 战斗机的问世时间更晚，但是综合作战能力仍无法与 F-22 战斗机相比。F-22 战斗机是一种强大的大型多用途隐身战斗机，该机使用 2 台普惠 F119-PW-100 涡扇发动机，可实现二元矢量偏转和超音速巡航。追求性价比的 F-35 战斗机显然无法在隐身方面和 F-22 战斗机比拼，唯一对 F-35 战斗机有利的条件是它们可以被大量生产并用于广泛出口。

值得一提的是，F-22 战斗机产量有限，2009 年美国国会决定中止采购这种造价高昂的战斗机，最终 F-22 战斗机只生产了 195 架，其中包含了 187 架标准机和 8 架原型机。因此，就算美国取消不出口的原则限制，这种机型

也只够美国自己使用。如今 F-22 战斗机的生产线已经关闭，重新开放的代价非常大。


正在执行任务的 F-22“猛禽”战斗机



F-22“猛禽”战斗机右侧视角





F-35“闪电Ⅱ”战斗机在低空飞行



准备起飞的 F-35“闪电Ⅱ”战斗机



NO.48 同样用于对地作战的攻击机和战斗轰炸机有何区别？

攻击机是作战飞机的一种，主要用于从低空、超低空突击敌战术或浅近

战役纵深内的目标，直接支援地面部队作战。攻击机的特点是具有良好的低空和超低空稳定性和操纵性；良好的下视界，便于搜索地面小型隐蔽目标；有威力强大的对地攻击武器，除机炮和普通炸弹外，还包括制导炸弹、反坦克集束炸弹和空对地导弹等；飞机要害部位都有装甲保护，以提高飞机在地面炮火攻击下的生存力；起飞着陆性能优良，能在靠近前线的简易机场起降，以便扩大飞机支援作战的范围；机上装有红外观察仪或微光电视等光电搜索瞄准设备和激光测距、火控系统等；有的攻击机还具有垂直/短距起降能力。

攻击机是一种以打击敌方前沿和中、近程地面目标为主的航空兵器。美国和俄罗斯等国根据攻击方式、攻击能力和各兵种作战要求的不同，将攻击机分成两大类：一类是可在靠近前线的简易机场起降，在战场上空停留时间较长，载弹量较大，专门打击地面坦克和机动目标的亚音速攻击机，如美国A-10“雷电Ⅱ”攻击机、俄罗斯苏-25“蛙足”攻击机。此类攻击机易受对方空中力量袭击，自卫能力较弱；另一类是超音速攻击机，具有低空大表速突防能力，配备强大的对地攻击武器，作战半径较大，有一定的空战和自卫能力，如美国F/A-18“大黄蜂”战斗/攻击机、俄罗斯米格-27攻击机、英国/法国“美洲虎”攻击机。

小贴士

低空大表速就是要在飞机不解体的前提下，飞出飞机速度所能达到的最大逼近值。

战斗轰炸机是一种综合战斗机与轰炸机功用的军用飞机，同时具有攻击海上、地面目标和空中反击的能力，与以往执行轰炸时需要战斗机护航的轰炸机不同，战斗轰炸机本身具有防空能力，一架飞机就可以确保任务顺利执行。战斗轰炸机的任务是对目标进行密接支援，作为战术轰炸机使用，它本身具有一定程度的空防能力，可以充分在区域冲突与地面支援中发挥作用。

战斗轰炸机虽然具备两种飞机的功能，但直至第四代战斗机为止，大部分战斗轰炸机在空战上不如专用空战的战斗机。加上很多战斗机也具备一定的空对地能力，因此现代的战机发展多以空战为主、轰炸为辅，或一种专门空战的战斗机配合一种专门轰炸的战斗轰炸机，如F-16“战隼”战斗机配合F-15E“攻击鹰”战斗轰炸机。

虽然攻击机和战斗轰炸机都可以执行对地攻击任务，但两者并非同一机种，它们的区别在于突防手段和空战能力不同。攻击机的突防，主要靠低空

飞行和装甲保护，战斗轰炸机则主要靠低空高速飞行；攻击机一般不宜用于空战，而战斗轰炸机具有空战能力；攻击机用于突击地面小型或活动目标，比使用战斗轰炸机更有效。此外，攻击机可在野战机场起降，而战斗轰炸机一般需用永备机场。



美国 A-10“雷电Ⅱ”攻击机



俄罗斯苏 -25“蛙足”攻击机


美国 F/A-18“大黄蜂”战斗 / 攻击机



美国 F-15E“攻击鹰”战斗轰炸机

NO.49　美国 B-52“同温层堡垒”战略轰炸机长盛不衰的原因是什么？

B-52“同温层堡垒”（Stratofortress）轰炸机是美国波音公司研制的八发远程战略轰炸机，该机于 1948 年制定设计方案，1952 年第一架原型机首飞，1955 年批量生产型开始交付使用，先后研制了 B-52A、B、C、D、E、F、G、H 等型别，1962 年停止生产，总共生产了 744 架。20 世纪 90 年代是 B-52 轰炸机使用的鼎盛时期，有 600 多架 B-52 轰炸机在美国战略空军服役，以后大多数早期型号先后退役。

进入 21 世纪以后，尽管美国已经有了超音速轰炸机 B-1B 和隐身轰炸机 B-2，但是 B-52 轰炸机并没有退役，它仍然跟这些新型轰炸机共同执行轰炸任务。时至今日，B-52 轰炸机的后期型号仍在服役。美国空军计划让 B-52 轰炸机一直服役至 2050 年，届时其服役时间将超过 90 年。

B-52 轰炸机之所以长盛不衰，主要原因是它的初始设计很有前瞻性。从工程上来讲，B-52 轰炸机既有定型设计又有不定型设计，设计上的灵活性使它可以保持长久生命力，同时也有足够能力应对各种未知威胁。不定型设计意味着 B-52 轰炸机有很大的提升空间安装额外的系统与组件。在 B-52 轰炸机服役的 60 多年时间里，它的航空电子系统、硬件和武器系统都曾升级。B-52 轰炸机在武器舱升级之后装备了智能炸弹和有源电子扫描阵雷达，战斗力大幅提升。有源电子扫描阵雷达系统可以精确定位，分辨率也高得多。B-52 轰炸机还装备了 Link 16 战术数据链系统，它可以从地面部队和其他空中飞机节点获取数据，从而增强了 B-52 轰炸机的机动瞄准能力。


B-52 轰炸机仰视图

B-52 轰炸机最大起飞重量达 220 吨，可载弹 31.5 吨，是迄今为止美国最重的轰炸机，实用升限为 15000 米，最大航程为 16200 千米。B-52 轰炸机是具有发射巡航导弹能力的美国战略轰炸机中最物美价廉的机种，这也是它持续服役的重要原因。借助“通用战略旋转式发射架”（CSRL），B-52 轰炸机可以在空间有限的内置弹仓里挂载巡航导弹，而 B-2 轰炸机则因为内置弹仓深度和长度问题无法使用。以 B-52H 为例，它最多可挂载 20 枚 AGM-86B 巡航导弹，其中 8 枚都是内置的，旋转式发射架像左轮手枪一样巧妙地将一枚枚巡航导弹旋转至弹仓口进行投放。这种旋转式发射架还能挂载制导

炸弹和普通炸弹等，使内置弹仓的利用更加灵活。虽然 B-1B 轰炸机也可以使用旋转式发射架，但需要拆除前部两个弹仓之间的隔板。

得益于美国先进的电子技术，B-52 轰炸机在拥有绝对制空权时能够对敌方进行完美空袭，拥有三位一体的精确打击能力。由于它拥有超大的载弹量，航程远，执行任务多样化，又被称为“空中多面手”。



B-52 轰炸机准备起飞



B-52 轰炸机侧前方视角

B-52 轰炸机及其搭载的导弹和炸弹



NO.50　美国 B-2“幽灵”隐身战略轰炸机有何先进之处?

B-2 轰炸机是由诺斯洛普・格鲁曼公司和波音公司联合麻省理工学院为美国空军研制的隐身战略轰炸机，绰号“幽灵”（Spirit）。它是当今世界上唯一的隐身战略轰炸机，其隐身性能可与小型的 F-117“夜鹰”攻击机媲美，而作战能力却与庞大的 B-1B“枪骑兵”轰炸机类似。即便是一贯以防空力量著称于世的俄罗斯，对付 B-2 轰炸机都比较吃力。

隐身性能出众

B-2 轰炸机隐身性能出众，其雷达反射截面积不到 0.1 平方米。隐身性能首先来自它的外形。B-2 轰炸机外形光滑圆顺，毫无折皱，不易反射雷达波，驾驶舱呈圆弧状，照射到这里的雷达波不会被反射回去。密封式玻璃舱罩呈一个斜面，且所有玻璃在制造时掺有金属粉末，使雷达波无法穿透舱体，造成反射。机翼后掠 33 度，使从上、下方向入射的雷达波无法反射或折射回雷达所在方向。机翼前缘的包覆物后部，有不规则蜂巢式空穴，可以吸收

探测雷达波。B-2 轰炸机没有垂直尾翼，大大减少了飞机整体的雷达反射截面积。机体下方没有设置武器舱或武器挂架，连发动机舱和起落架舱也全部埋入平滑的机翼之下，从而避免了雷达波的反射。

B-2 轰炸机的整个机身，除主梁和发动机机舱使用的是钛复合材料外，其他部分均由碳纤维和石墨等复合材料构成，不易反射雷达波。这些不同的复合材料部件不是靠铆钉拼合，而是经高压压铸而成。此外，整个机体都喷涂了特制的吸波油漆，这在很大程度上降低了敌方探测雷达的回波。为了隐身的需要，B-2 轰炸机的发动机进气口置于机翼上方，呈 S 形，可让入射进来的探测雷达波经多次折射后，自然衰减，无法反射回去。发动机喷嘴则深置于机翼之内，也呈蜂巢状，使雷达波能进不能出。此外，发动机构件内还装有气流混合器，它能将流经机翼表面的冷空气导入发动机中，持续降低发动机室外层的温度。喷嘴呈宽扁状，使人在飞机的后方无法看到喷口。特别是由于采用了喷口温度调节技术，喷嘴部分的红外暴露信号大为减少，飞机的隐身性能大为增强。

航程极大

B-2 轰炸机航程极大，机上装有 4 台美国通用电气公司生产的 F118-GE-100 涡扇发动机。飞机在空中不加油的条件下，作战航程可达 1.2 万千米，空中加油一次则可达 1.8 万千米。每次执行任务的空中飞行时间一般不少于 10 小时，美国空军称其具有“全球到达”和“全球摧毁”能力。

航电设备先进

B-2 轰炸机拥有性能先进的雷达和航电系统。机载雷达为休斯公司制造的 AN/APQ-181 相控阵雷达，其工作模式共有 21 种，最突出的是合成孔径雷达工作模式和反合成孔径雷达模式。前者主要用于扫描地貌，可清晰地获取 161 千米距离内地表的扫描图像，供飞机对地面目标轰炸时使用；后者主要用于识别和捕捉海上目标，最远有效距离可达 128 千米。另外还可让 B-2 轰炸机使用地形匹配和地形规避技术，使其能贴地低空突入敌方空域去执行轰炸任务。

B-2 轰炸机的目标瞄准系统采用的是 GPS 辅助瞄准系统，显示模式可放大 4 倍，方便观察瞄准，炸弹击中目标的误差通常小于 6 米。B-2 轰炸机还装有 APQ-50 电子对抗系统，既可为飞机提供雷达预警，又能迅速侦悉敌方雷达所处的方位座标。飞机上的 ZSR-62 主动式电子对抗系统能够快速、主动地对敌进行干扰和压制。

武器载荷强大

B-2 轰炸机的武器载荷非常强大，2 个旋转弹架能携带 16 枚 AGM-129 巡航导弹，也可携带 80 枚 MK 82 或 16 枚 MK 84 普通炸弹或 36 枚 CBU-87 集束炸弹，使用新型的远程攻击弹药（TSSM）时携弹量为 16 枚。当使用核武器时，B-2 轰炸机可携带 16 枚 B63 核炸弹，AGM-129 巡航导弹也可装载核弹头。此外，B-2 轰炸机还有使用联合空对地防区外导弹（JASSM）的能力。



B-2 轰炸机和 F-117 攻击机



停放在跑道上的 B-2 轰炸机


B-2 轰炸机起飞


B-2 轰炸机正在投弹

 NO.51 侦察卫星能不能完全取代有人侦察机的功能?

侦察机是专门用于从空中进行侦察、获取情报的军用飞机，是现代战争中的主要侦察工具之一。飞机诞生后，最早投入战场所执行的任务就是进行空中侦察。因此，侦察机是军用飞机家族中历史最长的机种。

侦察机按执行任务范围，可分为战略侦察机和战术侦察机。按照侦察机

技术类型又可分为有人侦察机和无人侦察机。在现代战争中，随着现代技术的发展，特别是信息技术的迅速发展，信息的作用越来越重要，拥有信息优势成为夺取战场优势的关键因素，空中侦察也已成为夺取战争胜利不可或缺的手段。

有人侦察机具有速度快、侦察范围大和提供信息量多等突出优点，一直备受军事部门的重视。现在的有人侦察机大致可分为两类：一是专用型侦察机，如美国的 U-2“蛟龙夫人”、SR-71“黑鸟”战略侦察机、RC-135 战术 / 战略两用侦察机，俄罗斯的图 -214R 侦察机等；二是战斗型侦察机，让战斗机通过加装吊舱兼具侦察功能，如美国的 RF-14A 侦察机。战斗侦察机通常会携带必要的弹药。专用型侦察机不携带武器，主要依靠其高速性能和加装电子对抗装备提高生存能力。

侦察机通常装有航空照相机、前视或侧视雷达和电视、红外线侦察设备，有的还装有实时情报处理设备和传递装置以及目前最先进的合成孔径雷达。侦察设备装在机舱内或外挂的吊舱内。侦察机可进行目视侦察、成相侦察和电子侦察。成相侦察是侦察机实施侦察的重要方法，它包括可见光照相、红外照相与成相、雷达成相、微波成相、电视成相等。


美国 SR-71“黑鸟”侦察机

由于防空导弹的发展，使有人侦察机深入敌方的飞行变得日益危险。所以现在通行做法是让有人侦察机主要执行在敌方防空火力圈之外的电子侦察任务，大部分深入敌方空域的侦察任务由无人侦察机执行。如今，侦察机的

隐身技术正在得到广泛应用和发展，以提高侦察机的生存能力。科学技术的发展使现代侦察机的谍报本领倍增。大量高性能的光学、电视、红外、激光和雷达等侦察设备的运用，使侦察机可以及时、准确地获取战场情报，为指挥官定下决心提供依据。

总体来说，虽然无人侦察机和侦察卫星已部分取代了有人侦察机的功能，然而，实战证明，有人侦察机独特的优势以及未来战场上的作用，仍是其他侦察设备所无法替代的。



美国 U-2“蛟龙夫人”侦察机



美国 RC-135“铆接”侦察机



俄罗斯图 -214R 侦察机



NO.52 研发大型军用运输机需要克服哪些技术难题？

大型军用运输机一般指最大起飞重量超过 100 吨的运输机，它具有快速运送大量兵员、武器装备和其他军用物资到作战前线的能力，能够确保部队战略机动、战术投送的规模化、快捷性和突然性。由于大型军用运输机用途广泛，因此还可作为空中预警机、空中加油机、电子干扰机、海上巡逻机、特种任务飞机等支援机型的改装基础平台。

毫无疑问，大型军用运输机在未来战争中将起到越来越重要的作用，世界各国越来越重视这类机型的研制和发展工作。不过，大型军用运输机研发技术要求高，研发费用耗资巨大，而且研发和试验周期长，所以当今世界上能够独立研发大型军用运输机的国家极少。具体来说，研发大型军用运输机需要克服以下技术难题。

第一，大型军用运输机对起降要求非常高。现代战争中，军用运输机需要把作战物资直接运抵前线，而前线的机场跑道环境非常复杂，甚至不乏松软的土质跑道。军用运输机以超过 150 吨的重量在土质跑道上短距起降，对机身的强度、起落架的设计是十分巨大的考验，比民航客机的要求高得多。

而且，军用运输机为了缩短降落时间，减少暴露在敌方火力下的时间，通常采用更陡的下降曲线，降落时的冲击会更大，客观上也增加了机身和起落架的设计难度。

第二，大型军用运输机为了保证大型货物比如主战坦克能够开进货舱，机身尾部必须采用大开门设计。为了满足装载主战坦克的要求，要求机身和货舱的宽度必须超过 4 米。直径大、大开门的机身结构不完整，如何在大负载条件下保证不变形，设计难度非常大。为了保证结构的完整性，提高刚度，民航客机的尾部都是完整的结构，只在机身侧面设置小门。日本 C-2 运输机的样机就曾在测试中发生尾舱门变形的事故，导致不得不重新设计加强。

第三，大型军用运输机还要考虑中弹后的损伤容限能力。在作战前线，任何事情都有可能发生，磕磕碰碰是常见的事情，而且被敌方火力命中也是大概率事件。所以，大型军用运输机在结构设计上必须做到“轻伤不下火线”。相比之下，民航客机就没有这个要求，即便是一条划痕都要仔细检修。

总而言之，大型军用运输机特定的使用要求和作战环境决定了它的设计和制造难度。当然，并不是说民航客机就容易制造。两者的使用条件不同，导致技术上完全是两条不同的路线。民航客机追求经济性和安全性，军用运输机则追求性能和战场生存性，两者相同的地方是都追求可靠性和可维护性。



苏联安 -225“哥萨克”大型运输机


美国 C-17“环球霸王 Ⅲ”大型运输机


美国 C-5“银河”大型运输机


日本 C-2 运输机

NO.53 军用运输机大多采用T形尾翼的原因是什么？

飞机尾翼是通过产生和改变升力来保证飞机稳定性和操纵性的升力面，包括水平尾翼和垂直尾翼，水平尾翼用于保证飞机的纵向稳定性和操纵性，垂直尾翼用于保证飞机的航向稳定性和操纵性。尾翼的气动布局与飞机的飞行性能和使用要求密切相关，在正常式尾翼布局中，根据水平尾翼的位置，又可以分为常规式尾翼布局，水平尾翼与垂直尾翼构成十字形的布局以及水平尾翼与垂直尾翼构成T字形的布局。除正常式尾翼布局外，还有很多特殊的尾翼布局，比如双立尾、三立尾、V形布局等，分别适用于不同的飞机类型。

T形尾翼就是水平尾翼布置在垂直尾翼的顶端，从飞机正面看，平尾与垂尾构成T字形。T形尾翼的优点在于：T形尾翼布局将水平尾翼抬高，在小攻角飞行时，有效避开了机翼尾流的干扰，使其操纵效率提高，因此可以减小水平尾翼的面积，从而减轻结构重量；由于水平尾翼位置靠上，T形尾翼布局还可以实现后机身大开口，方便了大型货物的装运。由于T形尾翼具有上述这些特殊的气动特性和使用特性，因此它在许多大型军用运输机和尾吊发动机布局的民航客机上得到了广泛的应用。

众所周知，大型民航客机通常采用中单翼或下单翼布局，这样机翼及其下面吊挂的发动机离地面较近，日常维护非常方便。但这样机翼承力框架结构就得穿越机身，这对机舱分为上客下货两层的民航客机当然不是问题，但军用运输机为装载坦克、装甲车辆甚至直升机等大型装备就必须保证巨大的舱内空间，因此多采用承力结构从机舱上面穿过的上单翼布局。而且军用运输机经常需要在条件较差的战地机场起降，上单翼可增大发动机离地距离，更不容易吸入砂石，安全性更好。

在大型军用运输机多采用上单翼布局的前提下，其机翼产生的强大下洗气流会严重干扰后面水平尾翼的工作，因此采用T形尾翼，就可以避开前面的气流干扰，获得更高的气动效率，甚至水平尾翼的面积都可以做得更小一些。当然，凡事有利就有弊，T形尾翼不大方便维修，而且失速的时候也不易改出，但对军用运输机来说，显然前面的优点更重要，故T形尾翼成为主流趋势。

值得一提的是，T形尾翼布局对材料要求较高。对于水平尾翼，由于布置在垂直尾翼顶端，因此在结构上，就需要结构质量尽量轻便，这样才能保证尾翼结构能满足气动弹性设计要求。对于垂直尾翼，因为水平尾翼的高度



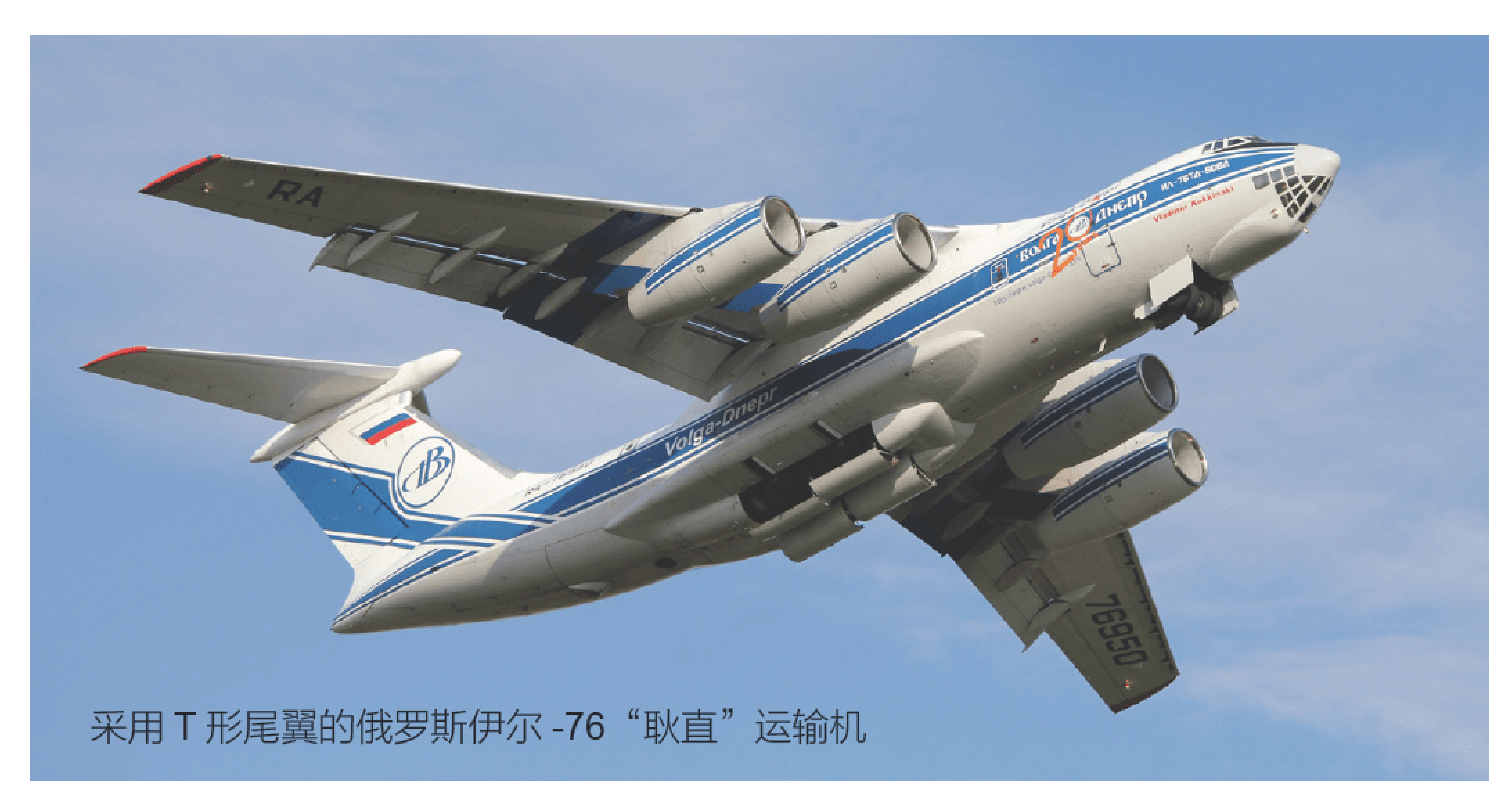
较高，所以垂直尾翼根部的弯矩较大。因此，T 形尾翼应选择比强度和比刚度高的结构材料。



采用 T 形尾翼的美国 C-17“环球霸王Ⅲ”运输机



采用 T 形尾翼的美国 C-5“银河”运输机



采用 T 形尾翼的俄罗斯伊尔 -76“耿直”运输机



欧洲 A400M“阿特拉斯”运输机的 T 形尾翼

NO.54 倾转旋翼机与传统飞行器相比有何优势？

倾转旋翼机是一种将固定翼飞机和直升机融为一体的新型飞行器，有人形象地称其为空中“混血儿”，它既具有普通直升机垂直起降和空中悬停的

能力，又具有涡轮螺旋桨飞机的高速巡航飞行的能力。

倾转旋翼机的历史

20 世纪 60 ～ 80 年代，美苏争霸进入了白热化，双方都在拼命发展新型武器装备。在苏联与阿富汗的战争中，苏军米 -24“雌鹿”武装直升机在战场上表现出来的强大作战能力，给美国带来很强的震撼，美国提出要研制和装备更高速度和飞行能力的直升机，对抗苏联武装直升机已占有的优势。美国选择了能够在飞行速度上取得更大突破的横列双旋翼的结构设计，即倾转旋翼，作为新的作战直升机的技术优势。

早在 1972 年，贝尔公司就接受了美国陆军和美国国家航天航空局关于共同发展 XV-15 倾转旋翼机的任务。1981 年，美国在 XV-15 机的基础上研制成功了实用型倾转旋翼机，1985 年 1 月它被正式命名为 V-22“鱼鹰”（Osprey）。作为一种倾转旋翼机，“鱼鹰”的机身、机翼和普通固定翼飞机基本相似，但是其位于机翼两端的螺旋桨发动机却可以上下转动。当螺旋桨发动机从水平状态转到垂直状态时，“鱼鹰”倾转旋翼机就可以像直升机一样实现垂直起降和悬停，当螺旋桨发动机处于水平状态时，就能给飞机一个向前的推力，使其能像固定翼飞机一般飞行。在螺旋桨发动机处于这两种状态之间时，既产生了升力，又产生了推力，能使飞机以低速飞行。

美国的倾转旋翼机试飞成功后，立刻成为全世界的焦点。而苏联却不以为然，他们认为这种倾转双旋翼系统结构布局的直升机，没有新的技术优势，而且会有很大的飞行风险。所以，在苏联时期及后来的俄罗斯直升机界，很长时间对倾转式横列双旋翼直升机结构，基本上没有太大的兴趣。

相比之下，“鱼鹰”倾转旋翼机的发展一直没有中断。2004 年 10 月，美国空军部长、空军参谋长以及负责特种作战的国防部副部长等一批美军方官员在试乘了“鱼鹰”倾转旋翼机后，都给予其高度评价，他们认为“鱼鹰”倾转旋翼机所发出的声音比普通直升机更小，而降落和起飞则更迅速。“鱼鹰”倾转旋翼机能够做到美军以前没有做到的事情，并赋予了美军前所未有的作战能力。

倾转旋翼机的特点

与直升机相比，倾转旋翼机航程远，航速高。在特种作战中，一般都是以直升机作为运载工具，就以美国著名的 CH-46D“海骑士”直升机为例，其最大巡航速度为 268 千米 / 时、航程仅为 366 千米，如此短的航程和过慢的航速已不能满足特种行动的需要。而“鱼鹰”倾转旋翼机在满载、垂直

起降的条件下，航程超过 2200 千米，在满载、短距起降条件下，甚至能达到约 3000 千米的航程。据称，一架“鱼鹰”倾转旋翼机从夏威夷起飞后，通过各个美军基地的转场飞行，即可到达世界上大部分地区，这样的高航程，使行动部队深入到偏远地区实施作战任务成为现实。倾转旋翼机凭借其高速性，能使行动部队以较快速度通过危险地区，而且它还有能力在一个夜间就把作战人员输送到数百千米以外的行动地点，在完成任务后又可以迅速返航。

虽然倾转旋翼机具有将直升机和固定翼飞机二者优点集于一身的优势和特点，但它既不能完全替代传统的直升机，也不能替代固定翼飞机，而是只属于一种填补直升机和固定翼飞机之间性能和应用空白的机型。与武装直升机相比，由于构型特点和设计重量的限制，倾转旋翼机在以直升机方式飞行时，其机动能力远较直升机为低，这主要是受到旋翼系统过载能力的限制。以“鱼鹰”倾转旋翼机为例，旋翼系统过载能力仅为 1.4，远小于直升机的 3.5，因此也就不具备武装直升机需要的机动能力，所以直到目前为止，美国还没有发展武装型倾转旋翼机的意向。所以说，倾转旋翼机不能完全替代传统直升机。


美国 V-22“鱼鹰”倾转旋翼机

另外，倾转旋翼机虽然在运营经济性上比直升机占优，耗油率比较低，但是在复杂的地形环境区域从事吊运、架线，紧急医疗救护等飞行作业，由于传统直升机具有比倾转旋翼更优的空中悬停性能，尽管运营成本比倾转旋翼机高，却仍能在发挥重要社会效益的同时，取得很好的成本效益。而倾转



旋翼机目前在这些特殊的应用领域还难以发挥出像直升机一样的效用。这主要是因为它在设计上兼顾了前飞性能和垂直起降性能要求后，空中悬停无法做到直升机那样灵活自如。



V-22“鱼鹰”倾转旋翼机仰视图



V-22“鱼鹰”倾转旋翼机准备降落



V-22“鱼鹰”倾转旋翼机在低空飞行



NO.55 研发空中预警机需要克服哪些技术难题?

二战末期，为了对付低空飞机、增加预警时间，空中预警机诞生了。现在它能监视来自各个方向数百千米以外的空中目标，而且能引导和指挥己方战斗机进行拦截，其作用经过多次局部战争已得到充分证明。很多国家都极为重视这一机种的研究与使用。

在一般人的印象里，空中预警机不过就是把雷达装在飞机上，应该没有太大困难。但实际情况是，到目前为止，真正成功研制出空中预警机的国家只有美国、俄罗斯、以色列和瑞典等。有些国家如英国、印度，它们的国产空中预警机虽然都已试飞，但后来却半途而废，改为从外国高价引进。事实上，研发空中预警机不仅会遇到研发航空器时的常见问题，还有不少特殊难题。具体来说，研发空中预警机需要克服以下技术难题。

雷达问题

空中预警机的雷达比地面雷达更复杂，除了体积、重量等限制很严外，性能上要求能消除地面反射的杂波干扰，否则发现不了贴近地面的低空来犯

目标。目前，可选用的雷达是有源相控阵雷达与机械扫描脉冲多普勒雷达。前者技术更加先进，以色列“费尔康”、瑞典 SAAB 340、美国 E-737“楔尾”等预警机都采用这种雷达；后者发展时间较长，技术比较成熟，被美国 E-3“望楼”、俄罗斯 A-50“支柱”等预警机所采用。

有源相控阵雷达的优点很多，如可对目标实施不间断跟踪；天线阵列上有数百个或数千个独立的发射 / 接收模块，可完成空中多目标搜索、监视、跟踪、地图测绘或对地探测等多种任务；采用固态器件，可靠性很高。如果雷达的发射 / 接收组件损坏二三个，对雷达整体性能影响很小。总体来说，有源相控阵雷达功率的利用效率很高。但研制这种雷达难度较大，每个发射 / 接收组件要求加工精度很高，数量又很大，而且雷达中要有很好的能快速处理大量信息的计算装置。此外，这种雷达对电源品质如电压、频率稳定度、抗瞬变能力、抗干扰能力等要求也很高。

相比之下，脉冲多普勒雷达的研制要相对容易一些，但包括大功率磁控管在内的一些电子元器件也不是一般国家所能制造的。

载机问题

目前，从一开始就设计为空中预警机的飞机还没有，几乎都是由民航客机或运输机改装而来。如果载机是从国外进口，一般很难获得飞机强度和空气动力的原始数据，所以只能加大安全余量，改装后飞机可能会增加很多不必要的重量或者有些部位强度不够。同时，飞机的空气动力数据也要重新做风洞试验来取得。无论是采用本国载机，还是从国外进口载机，加装预警雷达的风险都很大。

印度自研的空中预警机以英国 HS748 民航客机为载机，机背上加装了一个大圆盘雷达。该机于 1990 年 11 月首飞，1999 年 1 月在一次降落过程中坠毁，机上 4 名科研人员和 4 名空勤人员全部遇难。原因可能是改装后飞机安定性余度太小，在起飞、着陆等关键时刻，发动机或操纵系统稍有故障即会造成严重事故。

加改装问题

不同雷达类型，需要安装不同的天线。空中预警机的雷达要求功率大、探测距离远，因此天线都比较大。脉冲多普勒雷达多用圆形天线罩把天线包住，成为一个大圆盘，圆盘与天线一起旋转。它安装的位置多在后机身上方、垂直尾翼前面，用支架撑起，如 E-2C“鹰眼”、E-3“望楼”、A-50“支柱”等预警机。机身上的大圆盘会影响飞机的空气动力特性，最严重的是圆盘后

面的乱流打在垂直尾翼上，使其效率降低，飞机抖动。所以这类预警机一般都需增加垂直尾翼甚至水平尾翼总面积，而且要设法减轻飞机的振动。此外，外露的天线罩还会产生飞机阻力增加、重量加大、重心升高、油耗变大等问题。

有源相控阵雷达不需要圆形天线罩以及旋转天线驱动机构，对载机的空气动力性能影响也小得多。一般是在机头和机尾各装一个内有雷达天线的大鼓包（如英国“猎迷”预警机），或只有机头鼓包，而在机身左右两侧安装侧向天线（如以色列“费尔康”预警机）。最有趣的一种是将天线板装在后机身上方，如美国 E-737“楔尾”预警机，外形很像体操比赛的平衡木。

总而言之，无论采用哪种雷达天线安装方式，对载机机体结构都要做相当大的改动和局部加固。

全机可靠性问题

空中预警机完成任务的概率应大于 75% ~ 80%，也就是说，即使不考虑敌方防空、拦截等因素，全系统（包括载机）的可靠性要求也很高。任务可靠性与完成任务总飞行时间有关，也与全系统的平均故障间隔飞行时间（MTBF）有关，后者是指平均飞行多少小时该系统即会出现影响任务完成的故障，它与任一关键性部件直接有关。例如脉冲多普勒雷达只要有一个大功率管损坏，整部雷达便会瘫痪。如果该大功率管的 MTBF 是 100 小时，加上别的关键性部件的影响，预警机的总 MTBF 将会小于 100 小时。如果全机有两个这种水平的部件，预警机的总 MTBF 将会小于 50 小时。

电子对抗与电磁兼容问题

对于现代作战飞机来说，电子对抗是不可避免的问题，而机载设备之间的电磁兼容问题对空中预警机来说是非常复杂的。预警雷达功率很大，露出机外的其他设备天线非常多，相互干扰很难避免。目前，解决电磁兼容问题的方法有拉开波段、天线分区设置、分时使用、允许设备性能适度降低等。

电能问题

民航客机或运输机的用电设备包括机载仪表、照明灯具、空调等，而一装上预警雷达，用电量就会大大增加，因此都要加装大功率发电机。加装方法有两种：一种是用原来的飞机发动机带动增加的发电机，为此要更改发动机传动机匣。另一种方法是给飞机单独安装一套靠小发动机带动的专用发电机系统。无论采用哪种方法，最终都要消耗飞机上的燃油。所以运输机改为空中预警机后，航程会降低不少，往往必须加大油箱容量。



美国 E-3“望楼”预警机


美国 E-737“楔尾”预警机



俄罗斯 A-50“支柱”预警机



瑞典 SAAB 340 预警机



NO.56 陆基预警机和舰载预警机有何区别？

陆基预警机和舰载预警机在系统构成、工作原理、硬件设备、操作方式以及任务范畴上基本都是一样的，二者最大的区别是在性能和任务系统的软件算法上。

一般情况下，舰载预警机只适合在海上工作，而陆基预警机既能在陆地上空工作，也能在海上工作。这个区别不是因为舰载预警机的预警雷达性能比陆基预警机差，而是舰载预警机需要上舰，对雷达系统的重量和体积要求非常苛刻，在让雷达看得足够远的前提下，必须让雷达工作在较长的波长上，因为微波系统的规律是工作波长越长，雷达发射机才能做得较轻，器件也越容易做出来。但是这样一来，会带来性能方面的一些问题，即在天线尺寸一样的情况下，工作波长越长，雷达波的凝聚能力就越差，因此在照射目标时，会有较多的能量散射出去，打到地面上，产生很多杂波，进而影响雷达的探测和分辨能力。

由于海面较为平整，产生的杂波较弱，所以舰载预警机在海上工作时不会出现问题，但陆地上的情况就复杂多了，不仅会产生更多的杂波，杂波的信号特征也更加复杂，所以舰载预警机在陆地上空工作时的下视能力，要比在海上大打折扣。

相比之下，陆基预警机通常都会选择大型飞机作为载机，对雷达天线的

体积和重量没有舰载预警机那么多限制，所以雷达的工作范围更加宽泛，更多的任务系统操作员也让陆基预警机在处理问题时更加游刃有余，既可以在陆地上空执行任务，也能在海上工作。当然了，由于海杂波和地杂波的分布规律和频谱特性不一样，所以陆基预警机要在海上工作，需要在信号处理程序上，增加抑制和分辨海杂波的相应算法，这样才能提高工作效率。

由于海上环境腐蚀性较强，所以舰载预警机必须进行防腐蚀涂装处理，而陆基预警机则不需要。陆基预警机的体积比舰载预警机更大，所以机上作业人员会更多，具备的功能更加强大。舒适性方面，陆基预警机也要强于舰载预警机，机上作业人员能够有更多的合理休息时间，所以持续滞空能力更强。



美国 E-2“鹰眼”舰载预警机



E-2“鹰眼”舰载预警机在航空母舰上降落



美国 E-3“望楼”陆基预警机



图 -126“苔藓”陆基预警机



NO.57 陆基预警机载机大多选择民航客机而不是军用运输机的原因是什么？

预警机借由飞行高度，自空中搜索各类空中、海上或者陆上目标，提供

较佳的预警与搜索效果，延长容许反应的时间与弹性。预警机的任务特点决定了它必须长时间停留在空中，具备足够长的留空时间才能更好地完成监视、搜索、指挥等任务。所以预警机的平台大部分都是由巡航时间较长，运行成本较低的民航客机改造而来，只有少数预警机选择军用运输机作为载机。

目前，主要的预警机美国 E-3“望楼”系列预警机，采用波音 707—320 客机作为改装平台；E-737“楔尾”预警机，采用波音 737 客机作为改装平台；以色列“海雕”预警机，采用 G550“湾流”公务机作为改装平台；印度 EMB-145 预警机，采用巴西 EMB-145 客机作为改装平台；瑞典 SAAB 340 预警机，采用瑞典萨博 SF340 支线客机作为改装平台。而印度采用以色列技术的“费尔康”预警机、俄罗斯 A-50 预警机，都采用伊尔 -76“耿直”军用运输机作为改装平台。

预警机由民航客机改造，具有运行成本低，配件价格便宜，省油耐用等对比军用平台的明显优势。而军用运输机的短距起降性能，野战跑道起降性能和大型货物运载及进出能力，对需要重点保护的预警机并没有特别的吸引力。而且全部使用军用标准制造的军用运输机，其使用成本也远远较民航客机高。所以一般来说预警机都是把钱花在电子设备上，对平台的要求主要就是便宜可靠，飞行性能够用即可。另一个因素是绝大多数民航客机本身就是增压客舱，噪音、震动较小，配套设施较全，能给内部的工作人员提供一个相对舒适的工作环境，这方面军用运输机就有明显差距了。



以波音 707-320 客机为改装平台的 E-3“望楼”预警机

当然，采用军用运输机改装预警机平台也有自己的优点：军用运输机设计适合野战机场起降，一旦基地被袭击，可在战备跑道或前线临时清理出的

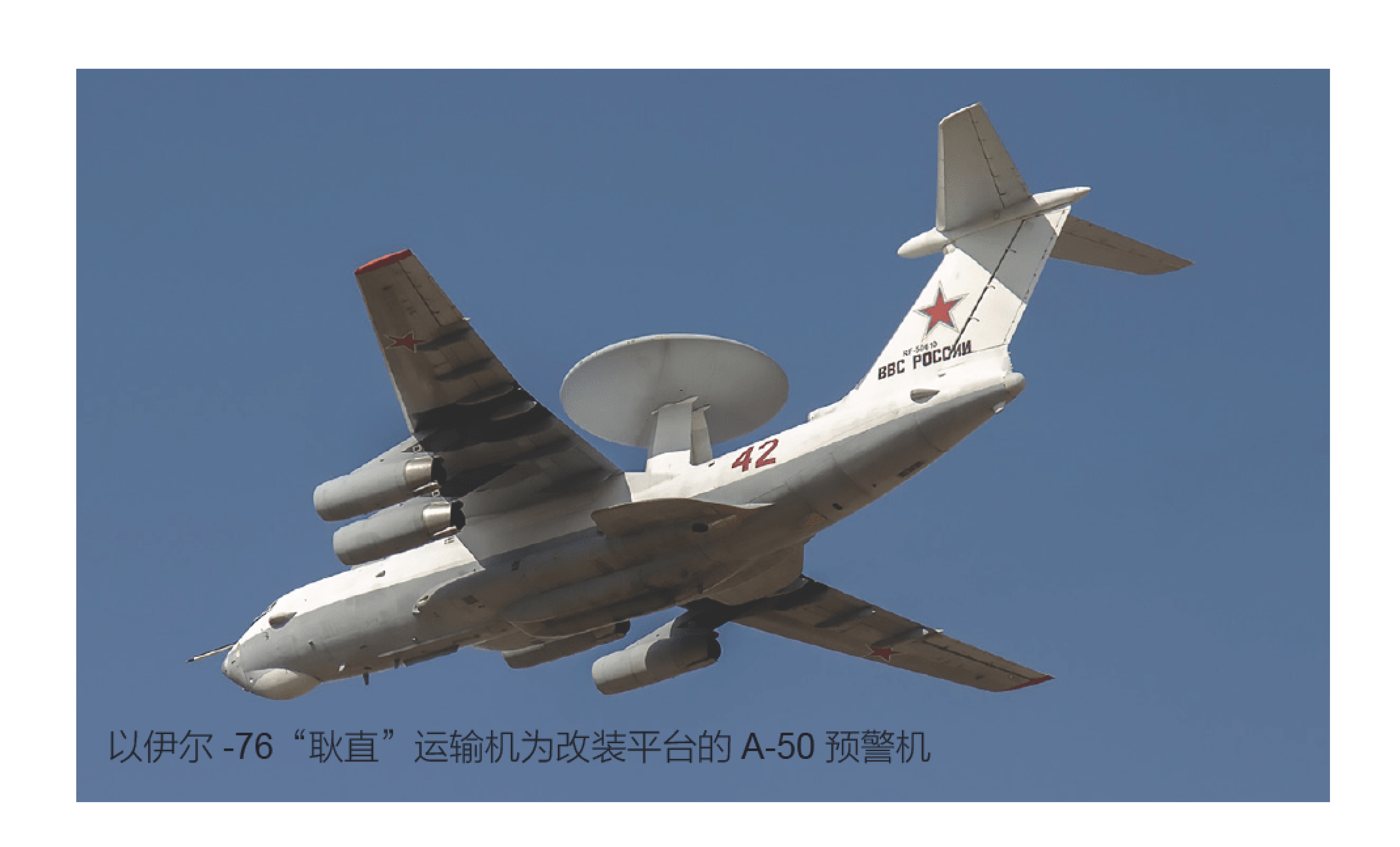
土地跑道上起飞、迫降，战时生存能力强，其短距起降能力也是民航客机平台所不具备的；军用运输机多采用上单翼布局，发动机安装位置较高，这意味着起降时不容易因吸入异物而导致发动机故障，当然上单翼在气动效率上，也比下单翼有优势。

总体来说，使用民航客机改装预警机，比军用运输机改装预警机有更多的优势和好处，这是陆基预警机载机大多选择民航客机而不是军用运输机的主要原因。



以波音 737 客机为改装平台的 E-737“楔尾”预警机


以 G550“湾流”公务机为改装平台的“海雕”预警机



以伊尔 -76“耿直”运输机为改装平台的 A-50 预警机



NO.58　双旋翼直升机与单旋翼带尾桨直升机有何区别？

按旋翼数量，直升机可分为单旋翼直升机和双旋翼直升机两类。单旋翼直升机主要包括单旋翼带尾桨和单旋翼无尾桨两种构型，双旋翼直升机主要包括纵列式、横列式、共轴式和交叉式四种构型。在现代军队中，单旋翼带尾桨直升机的数量最多，双旋翼共轴式直升机和双旋翼纵列式直升机也得到了一定程度的应用，其他构型的直升机则极少出现。

双旋翼共轴式直升机

双旋翼共轴式直升机（以下简称共轴式直升机）与单旋翼带尾桨直升机的主要区别是采用上下共轴反转的两组旋翼用来平衡旋翼扭矩，不需尾桨。在结构上，由于采用两副旋翼，与相同重量的单旋翼直升机相比，若采用相同的桨盘载荷，其旋翼半径仅为单旋翼直升机的 70%。单旋翼直升机的尾桨部分必须超出旋翼旋转面，尾桨直径约为主旋翼的 16% ～ 22%，这样，假设尾桨紧邻旋翼桨盘，则单旋翼直升机旋翼桨盘的最前端到尾桨桨盘的最后端是旋翼直径的 1.16 ～ 1.22 倍。由于没有尾桨，共轴式直升机的机身部分一般情况下均在桨盘面积之内，其机体总的纵向尺寸就是桨盘直径。这样，在桨盘载荷、发动机和相同的总重下，共轴式直升机的总体纵向长度仅为单旋翼直升机的 60% 左右。

共轴式直升机机身较短，同时其结构重量和载重均集中在直升机的重心处，因而减少了直升机俯仰和偏航的转动惯量。在 10 吨级直升机上，共轴式直升机的俯仰转动惯量大约是单旋翼直升机的一半。因此，共轴式直升机可提供更大的俯仰和横滚操纵力矩，并使直升机具有较高的加速特性。

由于没有尾桨，共轴式直升机消除了单旋翼直升机存在的尾桨故障隐患和在飞行中因尾梁的振动和变形引起的尾桨传动机构的故障隐患，从而提高了直升机的生存率。由于采用上下两副旋翼，增加了直升机的垂向尺寸，两副旋翼的桨毂和操纵机构均暴露在机身外。两副旋翼的间距与旋翼直径成一定的比例，以保证飞行中上下旋翼由于操纵和阵风引起的极限挥舞不会相碰。两旋翼间非流线不规则的桨毂和操纵系统部分增加了直升机的废阻面积，因而，共轴式直升机的废阻功率一般来说大于单旋翼带尾桨直升机的废阻功率。

一般来说，共轴式直升机绕旋翼轴的转动惯量大大小于单旋翼带尾桨直升机，因而，航向的操纵性好于单旋翼带尾桨直升机，而稳定性相对较差。由于共轴式直升机机身较短，故增加平尾面积和采用双垂尾可提高直升机的纵向和航向稳定性。共轴式直升机垂尾的航向操纵效率只在飞行速度较大时方起作用。

双旋翼纵列式直升机

双旋翼纵列式直升机（以下简称纵列式直升机）机身前后各有一个旋翼塔座，两副旋翼分别安装在两个塔座上，两副旋翼完全相同，但旋转方向相反，它们的反作用扭矩可以互相平衡。两副旋翼桨盘一般是有重叠的，通常大约为 30% ~ 50%。

从气动力上来看，前旋翼尾涡对后旋翼会产生气动干扰，后旋翼总是处在非常不利的气动环境中。为了使后旋翼对前旋翼尾涡工作所产生的气动干扰减少到最低限度，需要将后旋翼提高一些。后旋翼在前旋翼的尾涡中工作，这就是振动、交变载荷、噪声和功率损失的重要根源。一般说来，纵列式旋翼结构适合中型和大型直升机。

纵列式直升机的突出优点是纵向重心范围大，因此可以将机身设计得比较庞大。这种直升机的纵向操纵通过主旋翼差动总距变化使主旋翼拉力改变来进行，滚转操纵由周期变距使拉力产生横向倾斜而得到，而高度操纵则由主旋翼总距改变来完成。利用差动周期变距使两副旋翼拉力差动横向倾斜，以达到航向操纵目的。

与单旋翼直升机相比，纵列式直升机结构紧凑，所以航空母舰大多装备纵列式直升机。纵列式直升机抗侧风能力强，在大风作用下有较大的操纵余量。有安全统计资料表明：纵列式直升机的事故率明显低于单旋翼直升机，总事故率和事故所造成的灾难都低得多。

悬停时，纵列式直升机由于其较大的俯仰阻尼和较大的操纵功效，故其纵向操纵品质优于单旋翼直升机，而另一方面由于其较低的偏航阻尼与较大的偏航和滚转惯性，故其横向操纵品质低于单旋翼直升机。前飞时，纵列式直升机具有较大的迎角不稳定性。另外，两副旋翼之间气动力的干扰会对纵列式直升机的操纵品质产生一些影响。


采用双旋翼纵列式布局的美国 CH-47“支奴干”直升机


美国 CH-47“支奴干”直升机仰视图

采用双旋翼共轴式布局的俄罗斯卡 -52“短吻鳄”武装直升机

采用单旋翼带尾桨布局的美国 AH-1“眼镜蛇”武装直升机



NO.59 军用无人机有哪些发射方式?

军用无人机的发射方式可归纳为手抛发射、零长发射、弹射发射、起落架滑跑起飞、母机空中发射、容器式发射装置发射和垂直起飞等类型。在地面发射时，无人机使用较为广泛的是零长发射与弹射发射方式。大展弦比机翼的无人机，特别是长航时无人机，通常用起落架滑跑起飞的方式。轻型无人机和小型无人机多采用母机空中发射方式，其优点是机动性高，发射点活动范围大，可降低无人机燃油载量和航程要求。容器式发射装置常用于发射轻型无人机，或用于在军舰和潜艇上发射无人机。垂直起飞方式是旋翼无人机广为采用的起飞方式。

手抛发射

手抛发射是最简单的发射方式，由 1 人或 2 人操作，靠无人机自身动力起飞。手抛发射的无人机通常最大长度小于 3 米，发射重量多数小于 7 千克。例如，美国 RQ-11“渡鸦”无人机的长度为 1.09 米，翼展为 1.3 米，重量只有 1.9 千克。

零长发射

无人机安装在零长发射装置上，在 1 台或多台助飞火箭发动机推力作用下飞离发射装置，无人机起飞后，抛掉助飞火箭，由机上主发动机完成飞行任务。例如，加拿大 CL-289 无人机的尾部装有 1 台涡喷发动机，在其后通过推力杆连接 1 台助飞火箭发动机。在助飞火箭作用下，无人机从车载零长发射装置上发射。助飞火箭工作几秒后自动分离无人机，由涡喷发动机完成飞行任务。

弹射发射

无人机安装在轨道式发射装置上，在压缩空气、橡皮筋或液压等弹射装置作用下起飞，无人机飞离发射装置后，在主发动机作用下完成飞行任务。例如，英国“不死鸟”无人机在液压弹射器作用下从车载斜轨上发射，比利时“食雀鹰”无人机在自带的 M3 型火箭助推器作用下从 2.5 米短轨上发射。

起落架滑跑起飞

起落架滑跑起飞方式与有人驾驶飞机相似，所不同的是：有些无人机采

用可弃式起落架，在无人机滑跑起飞后，起落架便被扔下，回收无人机时，采用别的方式；大多数无人机，尤其是微型、轻型无人机，通常采用固定起落架，而航程较远和飞行时间较长的小型、大型无人机，通常采用可收放起落方式；这种方式起飞滑跑距离短，对跑道的要求也不如有人驾驶飞机那样苛刻。

母机空中发射

无人机由有人驾驶飞机（固定翼飞机或直升机）携带到空中，当飞行到某飞行高度和速度时，从空中发射无人机。固定翼母机携带无人机，一般采用翼下悬挂或机腹半隐蔽式携带方式，直升机一般由机身两侧携带无人机。例如，意大利“米拉奇”100 无人机由 A109 直升机空中发射。

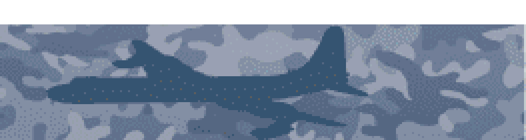
容器式发射装置发射

容器式发射装置是一种封闭式发射装置，兼备发射与贮存无人机的功能。它有单室式和多室式两种类型。其中，多室式发射装置含有多个发射室，每一室内有 1 架无人机，安置在室内发射轨道上，室内还配备有动力设备和电子设备。发射时，靠室内动力设备开启室门，推出轨道，调整发射角度后，可按先后次序发射每个室内的无人机或成组发射无人机，也可同时齐发。


美军士兵手抛发射 RQ-11 无人机

垂直起飞

垂直起飞方式有两种类型：旋翼垂直起飞和固定翼垂直起飞。旋翼垂直起飞的特点是以旋翼作为无人机的升力工具，旋转旋翼使无人机垂直起飞。由于这种起飞方式不受场地面积与地理条件的限制，所以适用范围广；固定



翼垂直起飞有两种情况，一种是飞机在起飞时，以垂直姿态安置在发射场，由飞机尾支座支撑飞机，在机上发动机作用下起飞。另一种是在机上配备垂直起飞用发动机，在该发动机推力作用下，飞机垂直起飞。



采用液压弹射起飞的法国“雀鹰”无人机



采用橡皮筋弹射起飞的德国“月神”X-2000 无人机

采用旋翼垂直起飞方式的美国 MQ-8“火力侦察兵”无人机



NO.60　军用无人机如何实现远距离遥控？

军用无人机的遥控方式，与无人机的大小和用途息息相关。一般来说，微型、超轻型无人机，属于小型战术无人机，它们工作范围小、飞行半径小，因此一般采用目视控制、简易近距离遥控等办法，控制距离从几百米到几十千米不等。近距离遥控虽然有几十千米的半径，达到超视距水平，但遥控方式和设备比较简单，主要通过便携式箱式地面站，或者手控式遥控终端控制。前者类似于军用移动电脑，后者则类似于游戏控制器，它们的共同特点是采用无线电遥控，控制方法较为简单，上手培训也比较容易。

轻型、小型无人机是目前各国军队装备数量最多的战术无人机类型，它们的体积更大，控制距离一般在 200 千米左右，一般用于军、师、旅级侦察作战等使用，控制战场范围比较广。它们具有自主飞行和导航功能，遥控距离较远，因此在技术上也更高端更复杂，需要配装无人机地面控制站这种专用设备。无人机地面控制站，就是完成无人机的遥控驾驶和任务规划，对无人机进行指挥的系统装置，在实战环境条件下，该装置通常会安置在一个方

便移动的方舱内，由车辆运载行进。

无人机地面控制站可以对无人机进行大体规划和指挥，在控制站一般设有大型平面显示器，显示无人机工作地域的数字电子地图，操作人员可以用触摸液晶屏的办法进行航路规划和修正，可以用手指轻点设置几个航路点，无人机就会根据航路点设置，从 A 点到 B 点，然后从 B 点再到 C 点。除显示高精度数字地图外，其他显示屏可以显示探测器回传的战场实时视频。还可以增加一个或多个中型显示器用于显示无人机的各项参数，比如其中一个以数字形式显示无人机详细数据并可以进行各种功能操作，另外一个显示的是无人机导航和姿态数据，显示形式与有人驾驶飞机基本相同，便于飞行员适应无人机操纵。此外，控制站还可以显示无人机发动机工作情况、油量和 GPS 导航参数。

至于更大体积的大型无人机，通常采用远距离卫星中继控制，即通过空中的军用卫星实现控制信号的中继。具体做法是在无人机头部设计一个空间，并在其中放置大功率卫星天线用于收发信号，至于控制中心，则在上千千米外的后方指挥部，通过中继数据链对前方飞机的决策进行监测和干预。有了这个卫星天线，大型无人机的遥控距离大大延长，一般都可以达到上千千米以上。



美国 MQ-1“捕食者”无人机在高空飞行


美国 MQ-9“收割者”无人机在高空飞行



美国 X-47B“咸狗”无人机在高空飞行



印度“尼尚特”无人机在高空飞行



NO.61 军用无人机有哪些回收方式?

军用无人机的回收方式可归纳为伞降回收、空中回收、起落架滑跑着陆、拦阻网回收、气垫着陆和垂直着陆回收等类型。

伞降回收

伞降回收是一种较普通的回收方式。降落伞由主伞和减速伞（也称阻力伞）二级伞组成。当无人机完成任务后，地面站发遥控指令给无人机，使发动机慢车，飞机减速，降低高度。达到合适的飞行高度和速度时，开减速伞，使飞机急剧减速，降低高度，此时发动机已停车。当无人机降到某飞行高度和速度时，回收控制系统发出信号，使主伞开伞，先呈收紧充气状态，过了一定时间，主伞完全充气。无人机悬挂在主伞下慢慢着陆，机下触地开关接通，使主伞与无人机脱离。

为尽量减少无人机回收后的损伤，特别是为保护机载任务设备，有些无人机还在机体触地部位安装有减震装置，最常用的就是充气袋。同时还要考虑到机体着地部位要尽可能远离任务设备舱。例如，加拿大 CL-89 无人机在回收时要上下翻转 180 度，使机腹在上，机背在下，机背前后的充气袋着地，吸收撞击能量，保护机腹内的任务设备。有些无人机的机体着地部分被设计成较脆弱的部件，当作飞机着地的减震装置。例如，英国“不死鸟”无人机在回收开伞后翻转 180 度，机腹朝上，机背向下，机背整流罩较脆弱，允许着地时被压扁，吸收着地撞击力，保护机腹的任务设备短舱。



展览中的加拿大 CL-89 无人机



英国“不死鸟”无人机

空中回收

空中回收是使用有人机在空中回收无人机，这种回收方式目前只有美国采用。采用这种回收方式，在有人机上必须有空中回收系统，在无人机上除了有阻力伞和主伞之外，还需有钩挂伞、吊索和可旋转的脱落机构。

空中回收的过程如下：地面站发出遥控指令，阻力伞开伞，同时使发动机停车，当无人机在阻力伞作用下降到一定高度和一定速度时，回收控制系统发出开主伞控制信号，打开钩挂伞和主伞，主伞先呈收紧充气状态，很快就完全充气。此时钩挂伞高于主伞，钩挂伞下面的吊索保证指向主伞前进的方向，在吊索上安装指示方向的风向旗，使有人机便于辨认和钩住钩挂伞。这时，有人机逆风进入，钩住无人机钩挂伞与吊索，当无人机被钩住时，主伞自动脱离无人机，有人机用绞盘绞起无人机，空中悬挂运走。

这种回收方式不会损伤无人机。但是为回收无人机要出动有人机，费用较高；在回收时要求有人机驾驶员必须具备较高的驾驶技术；受天气与风情影响大，加上伞的性能无法事先估计，其回收的可靠性较低。

起落架滑跑着陆

这种回收方式与有人机相似，不同之处是：跑道要求不如有人机苛刻；有些无人机的起落架局部被设计成较脆弱的结构，允许着陆时撞地损坏，吸收能量；为缩短着陆滑跑距离，有些无人机在机尾装有尾钩，在着陆滑跑时，尾钩钩住地面拦截绳，大大缩短了着陆滑跑距离。例如，以色列“先锋”“猛犬”“侦察兵”等无人机均装有尾钩。


美国海军装备的“先锋”无人机

拦阻网回收

用拦阻网系统回收无人机是小型无人机普遍采用的回收方式之一。拦阻网系统通常由拦阻网、能量吸收装置和自动引导设备组成。能量吸收装置与拦阻网相连，其作用是吸收无人机撞网的能量，避免无人机触网后在网上弹跳不停，以致损伤。自动引导设备一般是一部置于网后的电视摄像机，或是安装在拦阻网架上的红外接收机，由它们及时向地面站报告无人机返航路线的偏差。

当无人机返航时、地面控制站要求无人机以小角度下滑，最大速度不得超过 120 千米 / 时，操纵人员通过电视监视器监视无人机飞行，并根据地面电视摄像机拍摄的图像，或红外接收机接收到的无人机信号，确定返航路线的偏差，然后半自动地控制无人机，修正飞行路线、使之对准地面摄像机的瞄准线，飞向拦阻网。无人机触网时的过载通常不能大于 6G，以免拦阻网遭到较大损坏。例如，以色列“侦察兵”、美国“苍鹰”等无人机都采用拦阻网回收。

气垫着陆

20 世纪 70 年代出现了气垫车、气垫船，它们利用气垫效应离开地面或水面腾空行驶。无人机气垫着陆的工作原理是一样的。在无人机的机腹四周装置橡胶裙边，中间有一个带孔的气囊，发动机把空气压入气囊，压缩空气从囊孔喷出，在机腹下形成高压空气区——气垫，气垫能够支撑无人机贴近地面，而不与地面发生猛烈撞击。

气垫着陆的最大优点是，无人机能在未经平整的地面、泥地、冰雪地或

水上着陆，不受地形条件限制。此外，不受无人机大小、重量限制，且回收率高，据说可以达到 1 分钟 1 架次，而空中回收则是 1 小时 1 架次。

垂直着陆回收

垂直着陆的无人机机动灵活、反应迅速，适于低速、低空抵近飞行，可以垂直起降和空中悬停，不需要特定的起降场地，可以在狭窄空间执行任务，所以得到广泛应用。根据旋翼数量和布局的不同，垂直着陆无人机可分为单旋翼无人机、双旋翼无人机、四旋翼无人机、扑翼机、滚翼机和飞蝶无人机等。

小贴士

有些无人机采用非整机方式回收，这种情况通常是回收任务设备舱，飞机其他部分不回收。例如，美国 D-21 无人侦察机在完成飞行任务后，其任务设备舱被弹射出机体，由 C-130“大力神”运输机空中回收。有些小型无人机在回收时不用回收工具，而是靠机体某部分直接触地回收，采用这种简单回收方式的无人机通常是重量小于 10 千克，最大特征长度在 3.5 米以下。


美国 D-21 无人侦察机

NO.62　战斗机无人化需要克服哪些技术难题？

无人战斗机是一种全新的空中武器系统，无人作战飞机从过去主要是执行空中侦察、战场监视和战斗毁伤评估等任务的作战支援装备，升级成为能执行压制敌方防空系统、对地攻击，甚至可以执行对空作战的主要作战装备之一。

无人战斗机的优点

战斗机实现无人驾驶后在理论上要比有人驾驶时更有战斗力，因为电脑控制的战斗机不受飞行员的情绪和身体情况的影响，在战斗中既不会胆怯也不会受到刺激而失去理智，电脑按照程序控制的战斗机在作战过程中几乎不会出现操纵失误，越是复杂危险的飞行环境无人战斗机的安全性就越突出。现代战斗机在机动性能方面的提高始终受到飞行员承受能力的限制，9G 的过载已经成为人体可承受载荷的极限，飞行员的身体承受能力已经明显限制了飞机性能的提高。无人战斗机不需要考虑飞行员在机动过程中的耐受能力，机动过载可以提高到 20G 的标准，理论上已经可以靠机动动作摆脱现役空对空导弹，其格斗空战和突防性能将会远远超过由人驾驶的同类作战飞机。

常规战斗机中飞行员及其活动空间构成占机体空间总量的 15% ～ 20%，飞行员需要的附属系统其成本占飞机成品成本的 40% ～ 50%，飞行员观察和操作还要限制飞机的气动构成和发动机位置。战斗机无人化后直接的好处就是可以缩小飞机的体积和重量，如果保持体积和重量不变则可以大幅度增加飞机的有效载荷，不需要飞行员还可以在提高性能的同时简化结构和降低成本。战斗机如果取消飞行员，设计师可以将飞机的体积缩小 35% ～ 40%，更加简单的飞机结构设计可以明显降低结构重量，可以获得更好的飞行性能和更加出色的载荷航程条件。

无人战斗机另外一个优势就是在制造完成后不需要频繁地维护和训练，可以将其按照类似战术导弹的储存方式进行长期存放，在安全储存周期里无人战斗机既不需要维护也不消耗资源，在全寿命周期使用成本上具有常规作战飞机无法比拟的绝对优势。

无人战斗机的难题

现代无人机在作战用途上已经摆脱了早期将飞机本身作为武器的方式，而是将无人机发展成与常规作战飞机相同的平台，将机载搜索、跟踪、瞄准装置与数据通信系统综合起来，在得到作战指令后直接用机载武器攻击被侦察系统瞄准的目标。

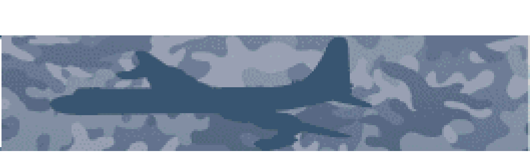
现代无人作战飞机已经在精确打击上虽然体现出很高的实用价值，但现有无人作战飞机仅限于担负对地精确打击任务，真正意义上的无人战斗机直到目前仍然缺乏实用装备的条件。现代航空技术在战斗机无人化的硬件方面已经没有明显的困难，但是在关系到作战灵活性和适应性的软件方面还有很大的不足。

现在使用的无人作战飞机大都采用操作者远程异地控制的方式。现有技术完全能够开发出系统完善的异地控制系统，操作者可以在安全的后方通过数据链对无人战斗机进行遥控。人工遥控无人机空战理论上和在飞行模拟器中空战一样容易，难点是操作者怎么对战场上复杂多变的空情进行全面的了解，怎样在强烈电子干扰环境下保证人机异地控制的通信联系。异地控制首先需要确定是在陆地、海上还是空中设置控制中心，控制中心是固定还是移动以及控制中心与战区的位置。

人工异地控制无人战斗机还要确定是每架无人机都分别安排控制员，还是单个控制员同时控制几架无人机以及在同作战区域的多架无人机怎样保证不会互相干扰。异地控制虽然在技术上容易解决而且也比较实用，但是各种方面的问题都会影响到无人机的实际作战环境和效率，直到目前为止还没有任何国家找到一个适用的最优化方案。

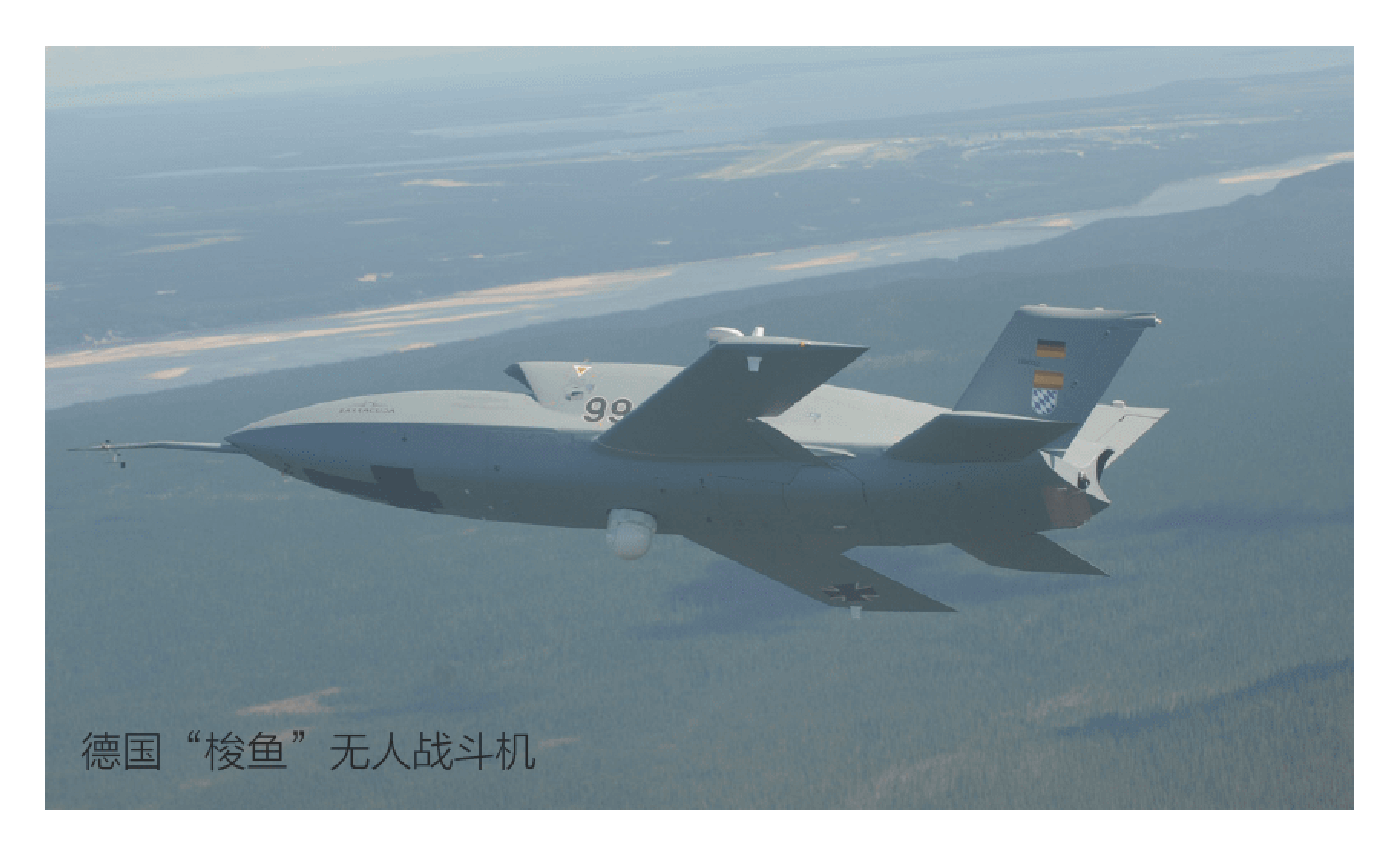
无人战斗机的最佳状态是飞机可以自主到达战区执行计划的任务，在执行任务过程中还可以根据具体情况的变化自动进行任务调整，能够在机载自动控制系统的指挥下独立完成作战任务。无人战斗机的自主作战能力是相关技术发展中最高层级的成果，也是对设计单位相关软、硬件设计和综合能力的集中考验。具备良好对空作战性能的无人机在理论上已经能够发挥其作用，电脑取代人脑自动完成目标搜索、跟踪和攻击并不是非常困难，但是无人机空战所需要的运算条件和反应速度远高于对地攻击，不同类型的空战对手在战术和行动特点上没有固定的套路可选，无人机根据对手的条件进行攻击—规避和电子对抗—反对抗时，电脑必须能够作出和人脑同样灵活的反应和客观的分析，如果电脑无法真正模拟出驾驶员在实战中可能的反应，那么无人战斗机在实战中很有可能成为对手眼中有规律可利用的活靶子。


美国“复仇者”无人战斗机




英国“雷神”无人战斗机


法国“神经元”无人战斗机


德国“梭鱼”无人战斗机


意大利"天空"X无人攻击机（右）与"天空"Y无人攻击机（左）



NO.63 地效飞行器迟迟未能大范围应用的原因是什么？

地效飞行器是利用地面效应提供支承力而飞行的运载工具。它装有固定机翼，能贴近地面（或水面）飞行。机翼下表面离地面很近，形成气流的堵塞，使机翼升力增加，称为地面效应。地效飞行器将飞机空中飞行的高速性和海上舰船的高承载性完美地结合在一起，在水天之际占据了超低空和掠海面的飞行空档。

地效飞行器的历史

早在航空业发展初期，飞行员就发现飞机（尤其是小展弦比、下单翼、宽翼展飞机）在着陆过程中，当飞行高度与飞机翼弦长度相近时，会出现一种附加升力，使飞机不太容易完成着陆。最初，人们在发现这种现象时，并不明白这种附加升力的特性，也没有去专门研究如何应用这种附加升力，只是简单地给它起了一个"空气垫"的名字。直到出现诱导阻力理论后，人们才弄清楚这种现象的实质，对其进行了更科学的分类，称其为"邻近地面效应"，也称"地面效应"或"地屏效应"。

地面效应是指飞行器由于地面或水面干扰的存在，升力面（通常指机翼）的下洗作用受到阻挡，使地面或水面与飞行器升力面之间的气流受到压缩，即机翼下面的压力升高，因而增大了机翼升力，同时减少阻力（即机翼诱导

阻力因气流流过的条件改变而减小）的两种空气动力特性。

后来，人们在不断的认识过程中，研制出了一种利用地面效应提供支承力而飞行的飞行器，与气垫船不同的是，它必须有前进速度才能产生地效作用，所以也称作“动力气垫地效翼船”。地效飞行器曾被称作“两不像”：如果说它是飞机，它却不需要机场起降，而且能像船一样在水上航行；如果说它是船，它却又能像飞机一样飞行。

从 1897 年法国人最早进行地面效应飞行试验至今，人类对地效飞行器的理论研究和实践试验已有了上百年的历史。不过因种种因素的制约，很多国家在该领域所取得的成就远不如在水上和空中运载工具方面那么明显，在这方面独领风骚的是苏联/俄罗斯。苏联/俄罗斯的专家们经过几十年的努力，已经解决了地效飞行器的空气动力学、结构强度、安全性和使用可靠性问题及其相应的结构材料、发动机和机载设备的保障问题，并成功地研制出各种用途的地效飞行器。

地效飞行器的优点

（1）高承载性与高速性。地效飞行器的载运量可达自重的 50%，而著名的波音 747 飞机载运量仅为其自重的 20%；它可完全脱离水面或地面航行，需要克服的阻力只有水的 1/800，因此其飞行速度比一般船艇速度高 9 ~ 14 倍，比大多数高速船也快 2 ~ 4 倍。

（2）高运输经济性。客运地效飞行器的单位千米耗油量基本上与现代先进飞机相当，但它却不像飞机必须从投资大的机场跑道起降，并且具有一定的爬坡登岸能力。与船舶相比，货运地效飞行器每千克负载以 500 千米/时的航速运送 5000 千米的运输费用仅相当于常规船舶以 40 千米/时航速的运输花费。

（3）多航态营运特性。地效飞行器一般都具有低速排水航行、中速气垫状态航行和高速离水航行等特性。

（4）高耐波性与适航性。由于地效飞行器采用动力气垫增升等技术，大多都能在 3 级海情下顺利起降，在浪高小于 3 米时稳定安全地巡航航行。两栖性地效飞行器不仅可在水面、冰面、雪地上低空掠行，且具有一定的爬坡、登岸能力，它不受航道环境和码头条件限制，可以快速将人员和货物运往滩头。

（5）良好的隐蔽性和突防能力。地效飞行器通常都是贴水面或地面高速掠行，所以一般都处在敌方雷达盲区内，很难被发现。即使被发现，它也能规避敌舰载或陆基防空武器的拦截，突防能力很强。

（6）较强的作战能力。地效飞行器比现有的导弹快艇速度更快、机动性更好，可利用其高速性和突防能力对敌舰进行有效攻击，而敌人的水雷、鱼雷不会对其构成威胁。

（7）多用途性。在军事领域，地效飞行器除可用于攻击敌方舰艇及实施登陆作战外，也可用于执行运送武器装备、快速布雷、扫雷等任务，还可为海军部队提供紧急医疗救护。在民用领域，地效飞行器不仅可用于客、货运输，还可用于资源勘探、搜索救援、旅游观光、远洋渔船和钻井平台换员运输、通信保障与邮递等。

地效飞行器的技术障碍

许多军事家预言，地效飞行器将成为现代立体战争的组成部分，在军事上应用前景十分广阔。然而，地效飞行器发展至今尚有不少技术障碍，所以迟迟没有大范围应用。

首先，地效飞行器设计理论还不成熟。与常规飞机设计不同，这种飞行器由于在飞行中，不仅受地面效应影响，还会受到海情、浪高等许多随机因素的影响，在整个航行过程中大都处于非定常飞行状态，空气动力原理十分复杂，特别对飞行器操稳特性的控制和操纵面的设计带来很大的难度，因此这种飞行器的设计大量依靠风洞试验和水面实际试航，不仅费时费钱，还很难找到一般规律。



苏联研制的“伦”级地效飞行器

其次，地效飞行器要经常从水面进入大气，又要从大气进入水面，这两种介质的交替使用会给机体造成特别大的冲击载荷，并使飞行器的气动力受到强烈扰动，造成翻转、强烈颠簸，严重时甚至会破坏机体结构，导致机翼折断、机身破损等。


“伦”级地效飞行器正面视角


“伦”级地效飞行器侧面视角



苏联 A-90 地效飞行器紧贴水面飞行



NO.64　世界各国空军如何处理退役飞机?

任何武器装备都有使用年限，军用飞机也是如此。军用飞机退役后，都要经过一个严谨的技术处理和封存过程，并不会立即报废拆解，回炉制造成铝锭。

以美国空军著名的“飞机坟场”——戴维斯•蒙山空军基地为例，每架退役飞机在抵达这里后都要经过仔细清洗和无害化处理。首先是给机身洗澡，清洗掉附着在机身表面的盐雾和尘土。然后清洗油路，换上轻质润滑油后再启动发动机，使发动机和燃油系统内部都被覆盖上一层保护油。最后要拆除座舱弹射座椅点火器这样的火工品，抽干机身内任何具有腐蚀性的化学液体。

处理干净的飞机就能被拖进坟场封存了，根据飞机状态的好坏，其封存状态也分为几个等级：1000 型储存意味着这架飞机要维持在能够立即重新服役的水平，也被称为“无破坏”储存，不允许拆除机上的任何零件。2000 型储存与 1000 型基本类似，不过飞机被视为“器官捐献者”，允许拆除零部件用于维持现役机队。

1000 和 2000 型飞机在完成清洁处理后都会被喷涂乳胶，其作用是覆盖机身表面的接缝和开口，防止水汽和野生动物进入机身。乳胶分两步喷涂，上表面喷涂白色，下表面喷涂黑色。如此处理有助于缓解飞机在沙漠高热环境下的老化，白色涂层可使飞机的内部温度保持在高于环境温度 9 度的范围内。

3000 型储存是指那些暂时存放在“坟场”的飞机，这些飞机受到最精心的照料，每隔 30 天要启动一下发动机、检查各种液体、拖行以保持机轮轴承的润滑。4000 型储存一般都是最老的飞机，基本不可能重新服役了。这些飞机只在发动机和座舱盖部位喷涂乳胶，而且一般会被拆掉发动机另行储存。当 4000 型飞机贡献出所有的可用零部件后，空机体也就会被拆解回收。

美国空军之所以能不断从“飞机坟场”中拖出退役战斗机销售给外国，或者改装成无人驾驶靶机，就是因为这种严谨的退役战斗机封存制度，能精确掌握每架退役飞机的状态。

与美国空军相比，其他国家的空军处理退役飞机的办法虽然在细节上存在差异，但是总的原则基本相同，主要处理办法都是封存和改装。除此之外，退役飞机还有一些其他用途，例如用作展览，当作教学用具。总而言之，退役飞机是一笔可观的资产，各国都会妥善利用，创造出最大的效益。


美国戴维斯·蒙山空军基地远眺



喷涂了乳胶的美国空军退役飞机



美国空军退役运输机





实战篇

在现代化三军中，空军是发展最迟缓的一支，以战机为主的空战武器也出现较晚，但空军和战机的发展速度却非常快。20 世纪初，现代空军才开始萌芽。到了二战时期，空军开始成为战争中的重要力量。这场战争以航空兵空袭开始，并以航空兵核空袭而结束，标志着空中力量开始脱离陆海军的附属地位，并在一定程度上左右了战役乃至战争的进程和结局。二战后，空军继续保持高速发展，并在一些局部战争中发挥了重大作用。时至今日，空军已经独立承担了许多对战争胜负有决定影响的战略战役任务，在现代战争中的地位与日俱增。

NO.65 战机带弹着陆或着舰有何风险？

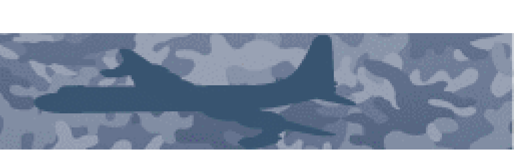
1999 年，在为期近 3 个月的科索沃战争中，北约进行了数轮大规模空袭作战，美国空军 B-2“幽灵”轰炸机在战争中大显身手。不过，有一架 B-2 轰炸机在执行任务时因旋转挂架出现故障，导致最后 3 枚炸弹无法投放，只能带回空军基地。结果，整个基地都如临大敌，生怕 B-2 轰炸机降落时出现问题。不过，最后并没有发生事故。

为什么轰炸机带弹返航会让基地如此紧张？究其原因，主要是因为战机带弹着陆会大大降低安全性。喷气式飞机着陆的时候，为避免失速和调整自身姿态需要，需要保持相当的速度，这个速度叫作入场速度。一般来说，这个速度是飞机失速速度的 130%。对于大部分民航客机来说大概是 200 千米 / 时，而大部分战斗机一般是 300 千米 / 时。但是飞机的失速速度是升力等于重力的速度，如果携带的武器增加了飞机重量，那么飞机就必须提高速度以增加升力，对应的失速速度和入场速度都要提升。重达十几吨的战斗机以这个速度接触地面，冲击力之大不言而喻。战斗机携带的武器越多，着陆时的冲击力就越大，这对于飞机整体结构和起落架承受能力是非常大的考验。

此外，武器挂架的承受能力也是不得不考虑的问题。着陆时的巨大冲击力，对于武器挂架的承受能力也是非常大的考验。在挂载重型武器时，一旦武器挂架的连接部件无法承受冲击，武器脱落后撞击触地的后果非常严重。

对于航母舰载机来说，带弹着舰的困难更大。由于航母舰载机着舰难度大，对于舰载机着舰要求也非常高。一般来说，要求舰载机必须满足在 0 高度、280 千米 / 时速度条件下，依旧可以作出 1.5G 的机动能力进行调整，所以带弹着舰限制了舰载机的机动能力，导致着舰风险加大。当年，F/A-18E/F“超级大黄蜂”战斗 / 攻击机之所以在竞争中打败 ASF-14“超级雄猫”战斗机，一个重要原因就是它能够携带 4 吨负荷返回航母，而后者因为自身重量太大，无法满足一要求。

有鉴于此，早期战机对于带弹着陆有较高限制，再加上早期无制导弹药比较便宜，为了提高安全系数，抛弃弹药以求平安着陆的现象比较常见。后来，制导弹药越来越贵，一枚导弹价值数十万美元，甚至超过 100 万美元，即便是财大气粗的美军也不敢随意抛弃。美军海湾战争报告就说：“没用上的弹药就得丢弃，这些浪费很让纳税人心痛！”为此，美国将带弹着陆、带弹着舰作为战机的设计指标。时至今日，世界各国军队几乎都已经解决了带



弹着陆和着舰的问题。

现代战机在研制的时候都对飞机主要受力的组件进行了强化、加固处理，尤其是复合材料以及碳纤维材料的广泛应用，使战机整体结构强度和起落架强度允许承受更大的着陆冲击力，从而提高了带弹着陆的安全上限。但在特殊环境下，为保障万无一失，对于带有重型炸弹或降落条件比较苛刻的飞机，仍要求抛弃炸弹再降落。



美国 F-22“猛禽”战斗机为 B-2“幽灵”轰炸机护航



满载导弹的美国 F-16“战隼”战斗机


美国 F/A-18E/F“超级大黄蜂”战斗 / 攻击机试飞



美国 F-35“闪电 Ⅱ”战斗机发射导弹

满载弹药的美国 A-10“雷电Ⅱ”攻击机



NO.66 拥有超视距攻击武器的战斗机安装机炮有何作用？

机炮是装在飞机上的口径等于或大于 20 毫米的自动射击武器，具有射速高、操作简单、结构紧凑等特点。自 20 世纪 20 年代战斗机问世后，机炮就一直是战斗机不可或缺的左右手，二战时期由于机炮是战斗机唯一具备作战效益的武器，其地位更是重要无比。

20 世纪 50 年代中期导弹问世后，机炮被认为失去了作用。因此，当时大多数新型战斗机都只配备了导弹，最著名的就是美国 F-4“鬼怪”战斗机。越战初期的 F-4 战斗机虽然可以挂载 8 枚空对空导弹，但当时导弹的杀伤概率奇差无比，AIM-9“响尾蛇”导弹的杀伤概率为 16%，而 AIM-7“麻雀”导弹只有 10.6%，也就是说 F-4 战斗机的 8 枚导弹全数发射完毕后，敌机很有可能毫发无损。而越战后期完成空战性能提升的 F-4E 战斗机，其所配备的固定式机炮杀伤概率则高达 50%。


美国 F-4E“鬼怪”战斗机编队

经过越战的教训后，美军飞行员认定战斗机一定要有机炮。在之后的很长一段时间内，绝大部分人都认为只要导弹还存在最小射程死角，机炮就不会过时。因此在 20 世纪 70 年代的战斗机上，机炮的地位稳如泰山。20 世纪 80 年代开始研制的 F-22“猛禽”战斗机以及 20 世纪 90 年代开始研制的 F-35“闪电Ⅱ”战斗机，也都保留了机炮。


美国F-22“猛禽”战斗机（左）和P-47“雷电”战斗机（右）


装有内置机炮的 F-35“闪电Ⅱ”战斗机

不过，由于机炮的效能多年来没什么长进，但空对空导弹的性能则今非昔比，因此机炮在空战中的表现日趋低调。1973 年的阿以战争，以色列战斗机击落的敌机中有 70% 是机炮的功劳；到了 1982 年以色列与叙利亚的贝卡谷地战役中，导弹则击落了 93% 的敌机；而同年英国与阿根廷的马岛战役中，机炮未立寸功；1991 年年初的海湾战争中，机炮也没有任何表现。

机炮虽然较导弹便宜，但机炮的间接使用成本很高，也影响了部分国家的使用意愿。英国接收的第一批“台风”战斗机，机炮只是个配重，不会有任何相关的后勤支持或训练，主要原因就是出于成本考虑：机炮在实弹射击训练时除了消耗靶机外还需要拖靶机的支持；测试空域会产生环境污染的问题；机炮击发时机体会承受复杂的应力，后坐力会损及结构及电子装备；机炮射击产生的热量、重击、震动，对隐身涂层及密封会造成潜在性损伤；废气具有腐蚀性；炮弹也不轻，需要特殊装备搬运。这些都增加了飞机的操作成本。

当然，机炮也不是一无是处，直升机、运输机以及其他低速飞机都比较适合装备机炮。1991 年的海湾战争中，由于沙漠地面酷热，红外空对空导弹对低飞的伊拉克飞机几乎一筹莫展，若碰上超低空飞行且装备红外抑制装备的伊拉克直升机，不论是红外制导或雷达制导空对空导弹都无计可施。另外，机炮还有一个根本性的优点，就是炮弹不受电子干扰。现在的红外制导导弹虽可抗电子干扰，但新一代战斗机将会广泛使用高能量的反制措施，届时红外制导导弹将面临巨大挑战。



俄罗斯苏 -57 战斗机保留了机炮



NO.67　战斗机不能加装武器攻击来袭导弹的原因是什么?

众所周知，海基和陆基的反导武器一般是各种防空反导导弹，在近距离条件下则是使用高射速的转管机炮进行拦截。但是战斗机却没有类似的设计，而是通过抛洒干扰弹来摆脱导弹袭击，同时配合机动动作规避导弹。究其原因，主要是因为以下几点。

第一，战斗机的外形面积，不具备安装反导武器的条件。无论是反导导弹，还是转管机炮，都需要占用较大的空间，而战斗机每寸空间都是非常宝贵的，很难像地面载具和舰艇一样布置这些重型反导武器，而且目前的反导武器都有功耗巨大的缺点（主要是对敌方导弹的搜索设备），这对于战斗机的发电机组来说是难以承受的。

第二，战斗机的设计功能，不允许加装武器攻击来袭导弹。一般情况下，战斗机是根据任务需要来挂载导弹和炸弹的，外挂架有 10 个左右，自身机炮配备炮弹一般在 500 发左右。战斗机在挂载空对空导弹时，通常要参加夺取制空权的空中格斗，如果挂载了空对地导弹或是反辐射导弹以及特殊制导炸弹时，通常要执行对地面重要军事目标或海上目标进行突袭打击的任务，

还没有定位于对空中来袭导弹进行打击的功能。

第三，战斗机的作战性能，不具备打击空中来袭导弹的能力。目前，世界各国的作战飞机速度一般在 1.8 马赫至 3 马赫之间（实际应用一般不超过 2.8 马赫，因为过载已超过 7G，飞行员长时间肯定难以承受），而地对空或空对空导弹的飞行速度则是 2 马赫到 5 马赫之间，战略核导弹最快可达 20 马赫以上，也就是说导弹的飞行速度要快于飞机速度，再加上现代导弹的智能性高，隐蔽突击性强，机动性好，战斗机很难锁定目标，或者说等战斗机锁定导弹时，也许导弹已经击中战斗机了。以速度 3 马赫的导弹为例，1000 米的距离用时不到 3 秒钟，战斗机驾驶员的操作速度和雷达计算速度要滞后于导弹飞行速度。

第四，战斗机的未来发展趋势，也不会加装打击来袭导弹的武器。根据世界各国对未来战斗机的研究表明，更多的是加强大功率发动机、新式气动布局、数字化平台及防护措施的研究，减少载弹量甚至是取消机炮。这样的发展趋势追求反应灵活，机动性强，能快速作出高难度的规避动作；提高电子战水平和对抗能力，强化防护和救生系统，提高飞行员生存能力。

综上所述，战斗机的诞生与发展，都没有把空中打击来袭导弹作为主要研究方向，只有如何采取规避险情的措施。抛洒干扰弹摆脱导弹袭击和利用机动动作规避导弹袭击是最常用的有效手段，也是目前战斗机空中格斗必备技能之一。



印度“光辉”战斗机在高空飞行


法国“幻影Ⅲ”战斗机编队飞行


满载弹药的法国“阵风”战斗机


日本 F-2 战斗机在高空飞行



NO.68　战斗机只向前方而不向后方发射导弹的原因是什么？

在空中缠斗中，飞行员最为忌讳的，就是让敌人咬住自己的背后位置。由于大部分战斗机的机炮和导弹基本上都是向前发射的，对背后的敌人无可奈何，飞行员只能依靠干扰弹和机动来甩开咬尾的对手，并伺机反击。也许有人会想，把导弹朝机尾方向安装，等敌机进入自己后方然后发射出去，岂不是就能解决咬尾的问题吗？事情当然没有这么简单。

战斗机之所以向前方发射导弹，主要有以下几个原因：战斗机发射导弹前，要靠机头里的雷达发现和锁定目标，为导弹提供参数；导弹的外形决定了向前发射才能不影响战斗机和导弹自身发射后的机动性；导弹一般是红外跟踪和攻击，朝前发射可以避开自己发动机的红外特征。而战斗机不向后方发射导弹，基本上也是出于上述原因。

第一，战斗机向后方发射导弹必须考虑如何发现目标。战斗机的雷达都安装在头部，这其中还包括其他的机载设备，总体来说，战斗机在设计之初就是设计为导弹向前发射的，向后飞行的导弹没有机载雷达的指引毫无意义。显而易见，飞机尾部很难安装大功率机载雷达。

第二，战斗机向后方发射导弹对发动机的影响较大。战斗机的导弹通常是挂载在机腹或者机舱里，由于机腹前方就是进气口，一旦导弹喷射的尾焰影响进气，则必然会造成发动机停车，危及战斗机飞行。

第三，战斗机向后方发射导弹时很难控制导弹的飞行状态。考虑到战斗机飞行速度很快，向后发射的导弹初期是尾部向前的减速运动，但一直是在向前运动，当导弹向前的速度归零后，才能向后运动，攻击后方目标。这对于导弹的飞行状态控制、速度控制等要求太高，也太复杂。一旦控制不好，导弹甚至有可能会危及载机的安全。



美国 F-106 战斗机发射 AIM-4 空对空导弹

值得一提的是，虽然战斗机向后方发射导弹有着诸多不便，但是美国和俄罗斯等国还是研制了可以向后方攻击的导弹，其工作原理还是向前发射，发射后导弹会 180 度转弯，然后依靠飞机尾部的小型雷达为导弹提供目标指引，这就是越肩攻击。从目前各国进展来看，由于导弹自身携带的燃料有限，离轴攻击（发射后大角度向后转弯攻击后方目标）尚无法达到很大的角度，导弹的后射距离实战还有时日。



美国 F-20“虎鲨”战斗机发射导弹


美国 F-22 战斗机发射 AIM-9X 空对空导弹



英国“台风”战斗机发射 AIM-132 空对空导弹

 NO.69 战斗机如何利用干扰弹摆脱导弹的攻击？

导弹一直是军用飞机的最大威胁，战斗机一旦被其锁定，加油逃跑显然不是明智之举。一旦遇上导弹，战斗机最好的应对方法就是抛洒干扰弹。

有矛就有盾，战斗机的干扰方式和导弹制导方式是对等的。导弹主要有两种制导方式——红外制导和雷达制导，所以干扰弹的设计思路也是红外干扰和雷达干扰。红外干扰弹是一种具有较高温度的红外辐射弹，亦称红外曳光弹，主要用于诱骗敌方红外制导武器脱离真目标。它广泛用于飞机、舰船的自卫。红外干扰弹大多为投掷式燃烧型，内装烟火剂多为镁粉、硝化棉和聚四氟乙烯的混合物，燃烧时能产生强烈的红外辐射。

雷达干扰弹主要是指箔条干扰弹，这种弹药是一种在弹膛内装有大量箔条以干扰雷达回波信号的信息化弹药。它在敌方目标上空，从弹体底部抛出箔条块。箔条块释放后裂开。箔条散布成云状并低速降落，对敌方雷达信号产生散射，使其不能正常工作。

早期的雷达和红外干扰弹系统，在战斗机上分别设置，称之为“单一诱饵”技术。而随着机载干扰技术的发展，在大多数第四代战斗机上，雷达和红外干扰弹早已集成在一起，形成“红外 / 射频复合诱饵”。相比早期的单一诱饵，

复合诱饵干扰技术集成度更高，而且可以有效对抗采用复合制导技术的新型导弹系统，干扰性能大大提升。

以 F-15J 战斗机为例，其使用的就是特拉科公司（后被英国宇航系统公司收购）研制的 AN/ALE-45 干扰弹投放器。它的探测器是机载雷达告警接收机，当该接收机接收到雷达制导空对空导弹的主动射频信号，则向 AN/ALE-45 投放器的控制系统发出告警信号，AN/ALE-45 控制系统由一个程序器和 4 个投放器组成。投放器位于两侧进气道下方，以田字格方式布置。投放时，干扰弹响应来自飞行员或机尾告警接收机的信号，以大离散模式进行投射，以最大限度扩散释放面积，形成最佳干扰效果。一般而言，对抗单枚导弹，释放 1 组或 2 组干扰弹即可，如果来袭导弹批次多，则需要多组连续发射进行抗击。如果要连发，就要由飞行员或程序自动设定连发次数和连发时间间隔。



美国 F-15E“攻击鹰”战斗轰炸机发射干扰弹

一般而言，箔条干扰弹更强调大散布面积，释放后有效散布面积达几十平方米，与战斗机自身所占面积相当，可有效散射敌方机载雷达和导弹雷达导引头的火控和制导信号，让雷达和导弹失去目标。而红外干扰弹则更强调能量密度和红外辐射强度，发射后形成离开战斗机机体一定距离的几米长的射焰（以模仿战斗机尾部发动机装置外热金属部件红外特征），每组持续几秒钟时间，足以保证来袭导弹被干扰弹诱饵欺骗，打错目标。如果来袭的导弹有多枚，红外干扰弹就要维持更长时间的干扰效果，保持足够能量密度和辐射强度，还得靠间隔一定时间连续发射多组来保证。



小贴士

普通大众看到战斗机释放干扰弹，一般是在航展等公开表演场合。



美国 F-16“战隼”战斗机发射干扰弹



美国 F-15E“攻击鹰”战斗轰炸机编队发射干扰弹


美国 F-22“猛禽”战斗机发射干扰弹



NO.70　战斗机能够倒飞的原因是什么？

战斗机的机动性较强，因此一些飞行员经常利用战斗机出色的机动能力做一些特别的机动显示自己的高超技术，倒飞就是其中之一。

所谓倒飞，就是战斗机的机腹朝上背部向下，飞行员头部朝下的一种特技飞行动作。倒飞时为了保持升力向上以维持重量，必须采用负迎角。为实现倒飞，还必须克服燃油、滑油流动反常、飞行员头部向下而脱离座椅以及战斗机稳定性和操纵性反常等问题。

当战斗机需要倒飞时，一种方法是战斗机在竖直面内通过向上做半圆弧飞行使机身形成倒飞状态；另一种是操纵飞机副翼转动，使一边机翼往上、另一边机翼往下绕机身做机翼旋转的动作，形成战斗机倒飞状态，在战斗机做特技表演时常能见到这种现象。倒飞时战斗机采取机头斜向上、机尾斜向下倾斜着机身，使反向的机翼原上表面（配合襟翼、副翼以及尾翼）与飞行方向形成一个适当的迎角（或称为负迎角），由此产生升力，维持战斗机倒飞状态。

至于战斗机为什么能够倒飞，首先需要了解飞机能够飞行的原理。机翼能够产生升力的直接原因是机翼上下表面的压力差。对于低速飞行、采用平凸翼形的飞机来说，机翼上表面会因为流速被加快，压力降低，从而产生翼形升力。机翼产生的升力还需要另外一个重要因素，就是迎角。当机翼与气流方向有了一定迎角后，不仅机翼上表面会因为空气被弯曲翼形加速产生负压区，下表面还会产生正压区，总体升力会大大增加。

飞机保持平飞不仅依靠翼型升力，还靠迎角升力。不过，这个迎角不能无限增大，当迎角过大时，上表面的气流会因为摩擦效应和黏滞性造成气流分离（气流不能连续的从机翼前缘流向后缘），升力就会急剧下降，再加上机翼下表面的正压区产生了巨大的阻力，飞机很快就会进入失速状态。

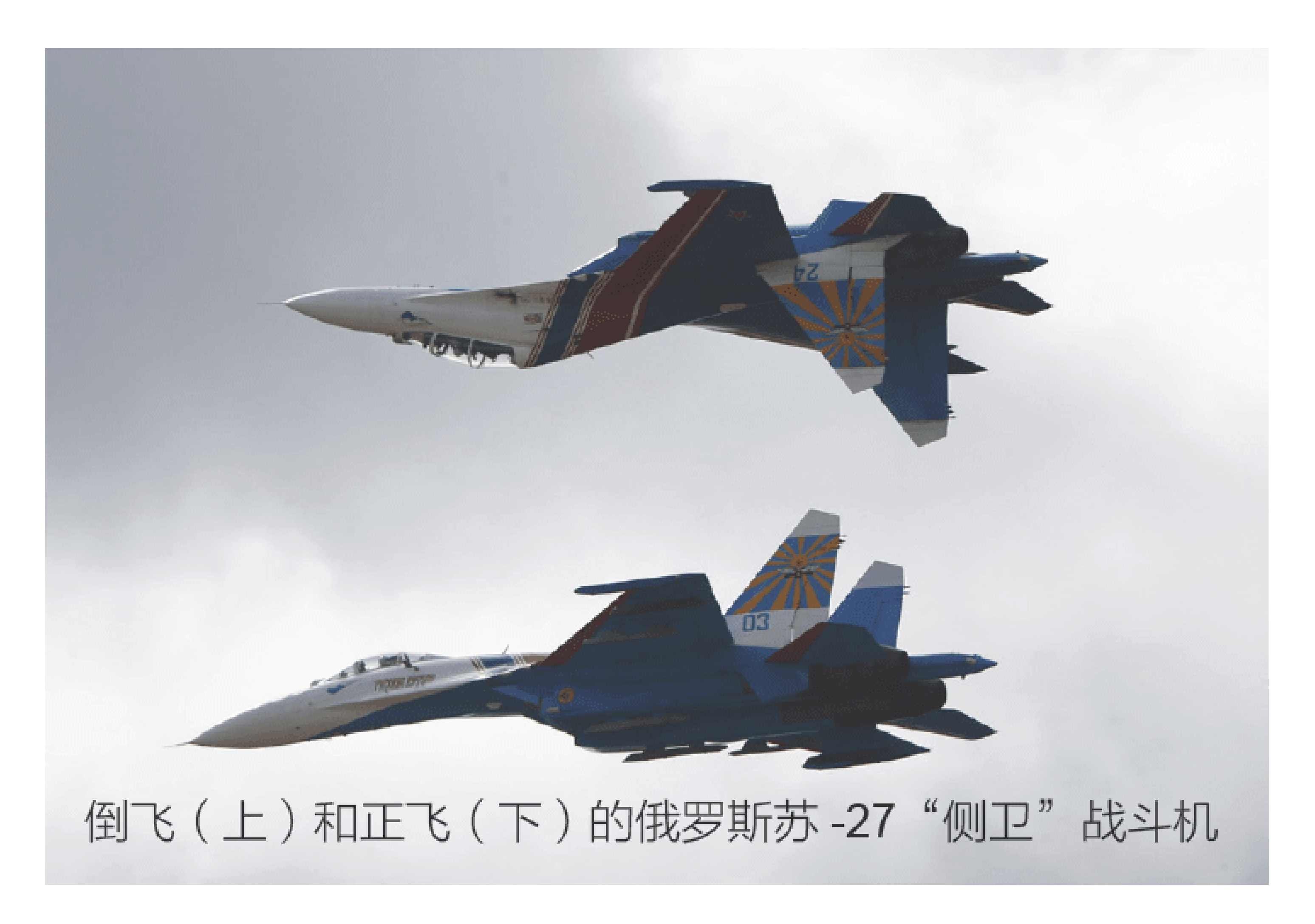
综上所述，飞机能在空中飞行不单是靠飞机机翼的特殊形状，还要靠飞机机翼与运动方向有一个迎角。因此，即使飞机倒过来，如果机翼仍然保持与前进方向的正迎角，有足够的迎角升力，飞机也可以飞行。飞机在倒飞时机头要比正常飞行时向天空上翘一些，这就是为了有足够大的迎角使机翼上产生足够大的升力维持飞机的倒飞状态。

倒飞的时候飞行员真正需要留心的事情是谨防发动机熄火。普通的轻型飞机，大多数储油和供油系统都是靠重力供油，飞机倒飞时很容易停止供油，因为此时供油阀的位置变了，已经位于油箱的顶部。飞机在做负过载飞行时，只有借助于专门的装置，才能保证向发动机正常供油。飞机燃油系统负过载供油装置根据常用的结构形式，主要可分为以下几类：双端供油泵式负过载供油装置、多泵高低位负过载供油装置、配重式负过载供油装置、蓄压油箱式负过载供油装置、混合式负过载供油装置。


倒飞的美国海军 F/A-18“大黄蜂”战斗 / 轰炸机


倒飞的美国 F-22“猛禽”战斗机


倒飞的美国 F-35“闪电 II ”战斗机


倒飞（上）和正飞（下）的俄罗斯苏 -27“侧卫”战斗机

NO.71　现代化战斗机撞上飞鸟的后果有多严重?

在航空业有一个专门的术语叫“鸟击”，就是鸟撞飞机的意思。按理说，体形小、重量轻的鸟类，与钢筋铁骨的飞机相撞应该是以卵击石，为什么能把飞机撞坏？其实，这主要是因为飞机的高速运动使鸟击的破坏力达到惊人的程度，一只麻雀就足以撞毁降落时飞机的发动机。目前鸟击仍是威胁航空安全的重要因素之一，自 1988 年以来，由于鸟击引起的坠机事故已经造成 200 余人死亡。

鸟击对飞机的损害有以下几个方面：第一，损坏飞机的气动外形，机身或者机翼上撞出一个坑，飞机的气动性能就会下降，或者升力减小，或者阻力增大，这是最轻的结果；第二，鸟击有可能造成发动机的损坏，一旦鸟被吸到发动机里，虽然叶片不至于被打坏，但是发动机内部核心的结构很容易受损，严重时甚至可以导致发动机空中停车；第三，鸟击有可能打穿飞机蒙皮，甚至击穿驾驶舱风挡玻璃，造成驾驶舱暴露，飞行员在低气压和大风的条件下昏迷甚至被吸出飞机，导致飞机失去控制。

民航客机害怕鸟击很容易理解，但现代化战斗机也同样畏惧鸟击，或许会让许多人表示不解。事实上，导弹技术的出现让装甲防御系统的作用变得几乎可以忽略不计，因此现代化战斗机都不会用厚重的装甲来包裹自己，而且战斗机的机身外壳设计也会尽量使用重量更轻的材料，目的是减轻战斗机的重量，从而获得更好的机动性和经济适航性。因此，战斗机在遭遇鸟类的时候，是不能依靠装甲来抵御的。外露的进气道系统，也容易让鸟类直接进入发动机系统中。

与体积庞大的战斗机相比，鸟类的体积和重量其实是很小的，如果战斗机保持静止，鸟类就不会影响战斗机。但是高速飞行的战斗机遇到鸟类时就需要十分留神，因为鸟类和战斗机之间存在相对速度，这种相对速度会产生很大的动能，如果战斗机和鸟类撞到一起了，动能就会转化为撞击的能量。鸟类的身体虽然没有战斗机外壳那样硬，但是瞬间的撞击仍然可以让机身受损，而且鸟类的身体组织和羽毛也会对战斗机的内部配件产生影响。

战斗机虽然拥有强大的战斗力，但是这种战斗力在鸟类面前是没有作用的，而且鸟类也不是有意和战斗机作对，只是因为栖息环境的问题，造成了这种偶然事件。虽然鸟击事件发生的概率很小，但是如果发生了，却很容易造成巨大的损失，所以必须予以重视。一般情况下，部署战斗机的机场，都

会在周边开展驱鸟工作。而战斗机一般也会加装一些设备，用于驱赶飞鸟。


土耳其民航客机起飞时跟随的鸟群


被飞鸟击穿的飞机座舱玻璃


遭受飞鸟撞击而凹陷的机翼



被飞鸟撞坏座舱盖的美国 F-16“战隼”战斗机



NO.72 战斗机编队飞行有何实际意义？

编队飞行是指两架及两架以上飞机按一定队形编组或排列飞行。在编队飞行的过程中，各机之间必须保持规定的距离、间隔和高度差。基本的编队队形有楔队、梯队、横队和纵队。这些队形由单机或分队组成。编队飞行的中心问题是保持规定队形并充分发挥飞机性能。长机在选择飞行状态时应给僚机修正偏差的余地，僚机要与长机密切配合。飞行中，长机可根据需要发出指令改变编队方案和各机相对位置。

编队飞行是空中兵力部署的重要战术之一，要求精度高、纪律严、目视能力强，可用于攻击、轰炸、侦察、空投、搜索、掩护、防御、空中摄影、检阅、表演、训练等。战斗机在空战中采用正确的队形有助于取得空中优势，而脱离编队的单机则易受敌方攻击。具体来说，战斗机编队飞行主要有以下好处。

第一，有利于增加命中率和增强威慑力。战斗机的机动半径一般很大，在连续攻击同一个目标时，它必须来回在空中盘旋，盘旋的半径由战斗机的机动性能所决定。如此一来，对特定的战斗机而言，攻击的次数是很宝贵的。基于这个特点，编队飞行的战斗机如果能同时攻击一个目标，那么命中率或者威慑力会更大。与此同时，编队飞行也能让多架战斗机互相保护，提高生存能力。

第二，可以帮助战斗机应对气流。众所周知，大雁飞行时经常采用一字编队和人字编队。一字编队对头雁的阻力最大，但是可以让后边的大雁得到暂时的休息；人字编队是流线型编队，头雁阻力与人字编队头雁的阻力基本相等，但是人字里边的大雁阻力较小，而且气流经过调整，都是直线型气流，非常稳定。喷气式战斗机本来就是利用气流动力，对气流的控制必须达到高超的水平。战斗机编队飞行除了作战需要外，最重要的作用就是应对气流。稳定的气流可以帮助战斗机编队快速机动。

第三，可以减少雷达反射。在现代空战中，密集编队方式已经较少运用，取而代之的是梯次和多层次配置的编队方式，如立体蛇形纵向编队、菱形编队等。但是密集编队方式在特定情况下仍能发挥重要作用，特别是在突袭行动当中，战斗机可以通过密集编队方式躲避敌方雷达的探测。在现代战争背景下，双方拉开架势打对攻的战争模式已不多见，一般战争的开始阶段都是采用突袭的方式拉开战争的序幕，而战斗机编队所形成的整体雷达反射相当于民航客机的反射，或者是带电云团的反射，无疑会大大提高战斗机编队的突袭成功率。


美国空军 F-22 和 F-35 战斗机组成人字编队





美国空军 F-16 战斗机编成横队飞行



伊朗空军的 F-14“雄猫”战斗机编队



俄罗斯米格 -29“支点”战斗机编队进行特技表演

NO.73　战斗机双机编队中长机和僚机有何区别?

长机是编队飞行中的带队飞机，其主要职责是率领编队（或僚机）执行任务。在大编队中除有带队长机外，组成该编队的小编队，包括基本编队（双机、三机）也各有长机；僚机是编队飞行中跟随长机执行任务的飞机。僚机应保持在编队中规定的位置，观察空中情况，执行长机的命令。

长、僚双机编队作战最早出现于一战时期。之前，飞行员大都单枪匹马地参加空战，一对一地缠斗，没有什么成套的战术手段。一战爆发不久，飞行员们便开始琢磨空战战术了。他们意识到，如果飞机位置在敌机后方，而高度又比敌机高，就有可能在空战中占到便宜。

有“空战之父”之称的德国王牌飞行员奥斯瓦尔德·波尔克在试飞“福克”战斗机的过程中，曾系统地研究了这一战术。每次空战，他总是先爬高到 15000 米，因为大部分协约国飞机飞不到这个高度，飞来的敌机只要稍不注意，他就用远距离小角度俯冲，居高临下接近敌机，在近距离开火。有一次，波尔克在向敌机俯冲发动攻击时突然发现，另有一架敌机也在跟踪他。他意识到这非常危险。于是，他找来另一位德国空中王牌马克斯·殷麦曼做他的搭档，结成双机飞行。为实现相互默契配合，他们制定了一套在空中联络的信号，互相为其视界盲区提供掩护，并借此发现从尾后跟进的敌机。一般认为，波尔克和殷麦曼是飞行史上第一对双机组合。由于他们的赫赫战功，其他国家的空军也纷纷采用双机编队的方式。

时至今日，战斗机仍然采用双机编队（也有特殊的三机编队方式，即一长机配双僚机结构）。一般来说，长机由有经验的飞行员担当，僚机通常是新飞行员，只要长机能够主动攻击敌机，僚机必须负责掩护和观察长机的后方，不能离开长机主动攻


俄罗斯苏 -57 战斗机双机编队

击敌机。僚机的首要职责是保护长机，让长机把全部精力集中到攻击上去。不过，战场形势瞬息万变，长机和僚机的职责也并非一成不变。当僚机所处位置更为有利时，也可由僚机负责攻击，而长机负责观察、警戒和掩护。



俄罗斯苏 -27“侧卫”战斗机双机编队



美国 F-22“猛禽”战斗机双机编队

瑞典 JAS 39“鹰狮”战斗机双机编队



NO.74　战斗机的过失速机动在实战中有何作用？

战斗机的常规机动一般靠控制过载实现。第三代战斗机的最大过载已经达到 9G，受到人的生理限制，其过载已经不可能再增大。而直接力控制等非常规机动的机动能力一般偏小，只适用于作精确瞄准和轨迹修正。因此，在第四代战斗机的研制过程中，提出了过失速机动概念，并将其作为第四代战斗机的特征之一。

战斗机的过失速机动是一种非常规机动动作，也称为“超机动”。它是指当战斗机实际迎角超过失速迎角、在飞行速度很小的状态下，战斗机还能处于受控状态，仍能按照有关操纵指令，迅速改变飞行速度矢量和机头指向的一种战术机动。这种过失速机动不需要很大的机动过载，有利于快速发射和回避格斗导弹，有效攻击敌机和保护自己。

过失速机动的过程是：驾驶员拉杆使战斗机由常规飞行状态以高俯仰速率作大角度跃升，使其迎角迅速达到 30 度～ 40 度左右的失速迎角，并在减

速过程中使迎角增大到 70 度左右，此时驾驶仪还能正常操纵战斗机绕速度矢量轴滚转或偏航，以便获得快速机头转向或快速机身瞄准能力，随后推杆减小迎角退出失速，转为俯冲增速恢复到常规飞行状态。

空战中最频繁发生的是低空和超低空近距空战。近距空战中最重要的作战方式就是迅速瞄准敌机的能力，即在攻击中不仅能快速地改变自身的速度矢量，还能使自己始终处于对手转弯半径的内侧，这样就能使自己更快速地进入攻击位置，先敌开火。过去的空战由于作战飞机的剩余功率较小，因而十分强调抢占高度的机动能力，以达到以高度获取速度的目的。现代战斗机在中等速度下剩余功率都很大，加速性都很好，爬升率都很高，速度上已经没有多大的差距，因此通过过失速机动获取更有力的角度优势，就成为捷径。

早在 20 世纪 70 年代中期，德国梅塞施密特 - 伯尔科 - 布洛姆公司就开始研究传统上认为无用的飞行区域、过失速区及在过失速区机动的空战效能。通过理论分析、数字仿真、空战模拟台试飞发现，过失速机动可以显著改善近距格斗能力和减小飞行员对超机动的疑虑，近距格斗中期望的最大失速迎角为 70 度，并且认为过失速机动必须依赖于推力矢量控制和数字式电传控制。在 20 世纪 80 年代初，德国沃尔夫冈 • 赫伯斯特博士首先提出“过失速机动”概念，并对此作了大量研究，获得一些重要研究成果，推荐了一些超机动动作、失速机动的速度与高度范围及获得失速机动必须的飞机推重比和操纵效率。赫伯斯特博士所给出的结论对于失速机动技术的研究和推力矢量控制技术的应用具有重要指导意义。

根据赫伯斯特博士的研究，进行超机动的飞机必须满足一系列条件，即其判断准则是：飞机在俯仰、偏航和滚转三个通道应具有足够的操纵能力，在马赫数低到 0.1、迎角达到 70 度时仍能保持较高的操纵效率，为此需要采用推力矢量控制技术，并且应选用推重比大于 1.2 的高性能发动机；飞机需要采用闭环控制和先进的气动布局以便具有极好的低速、大迎角稳定性；飞机应能转得快、加减速快，即具有在很短时间内产生很大的瞬时角速度的能力。

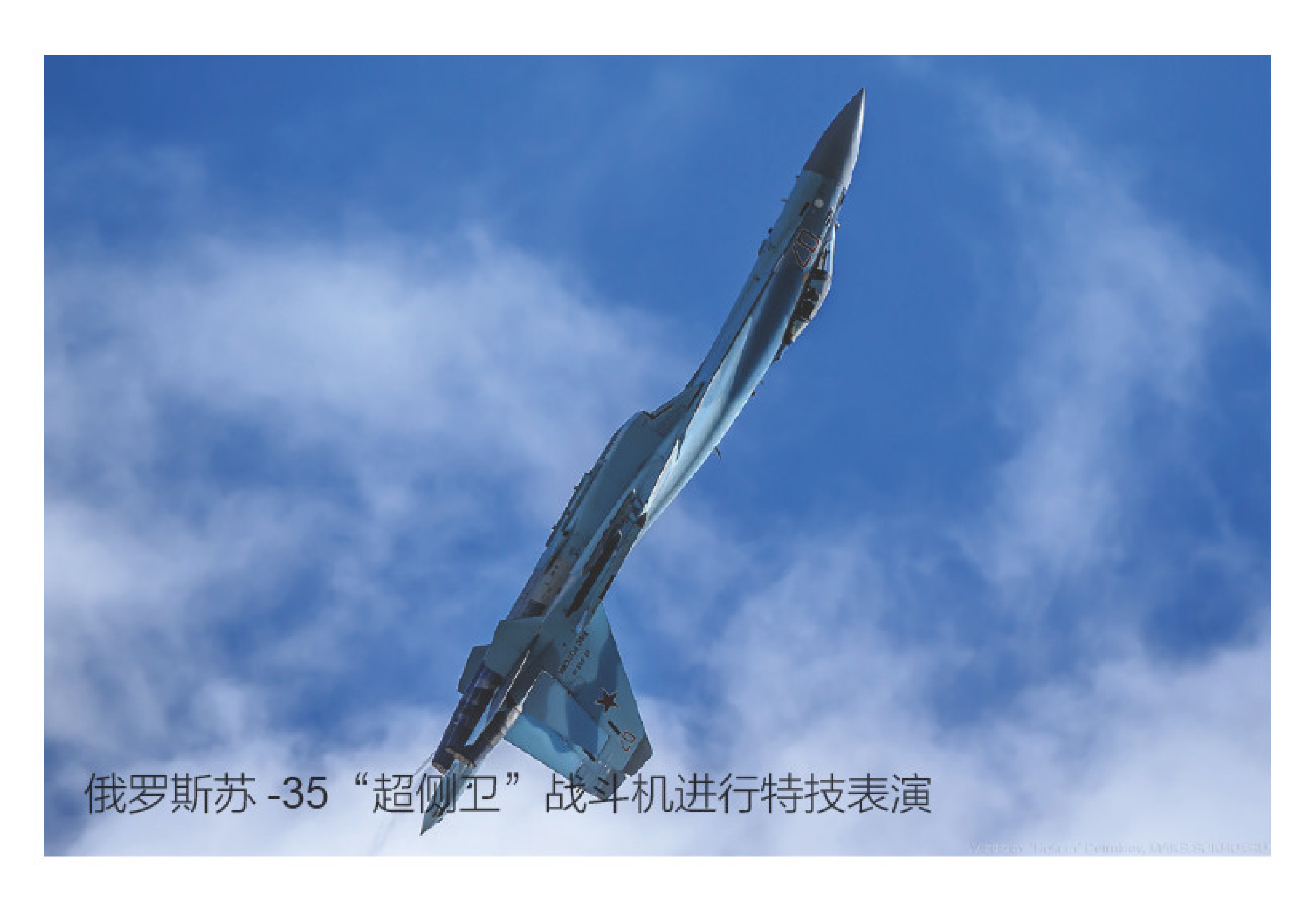
德国、美国、俄罗斯和以色列等国对飞机过失速机动进行了深入研究，目前已经取得了很多研究成果，并在实践中得到一定应用。美国的 F-22“猛禽”、法国的“阵风”、俄罗斯的苏 -35 等新式战斗机在设计之初就非常重视过失速机动设计，并拥有较强超机动能力，其中 F-22“猛禽”战斗机已经达到迎角 60° 以上的超机动实战能力。

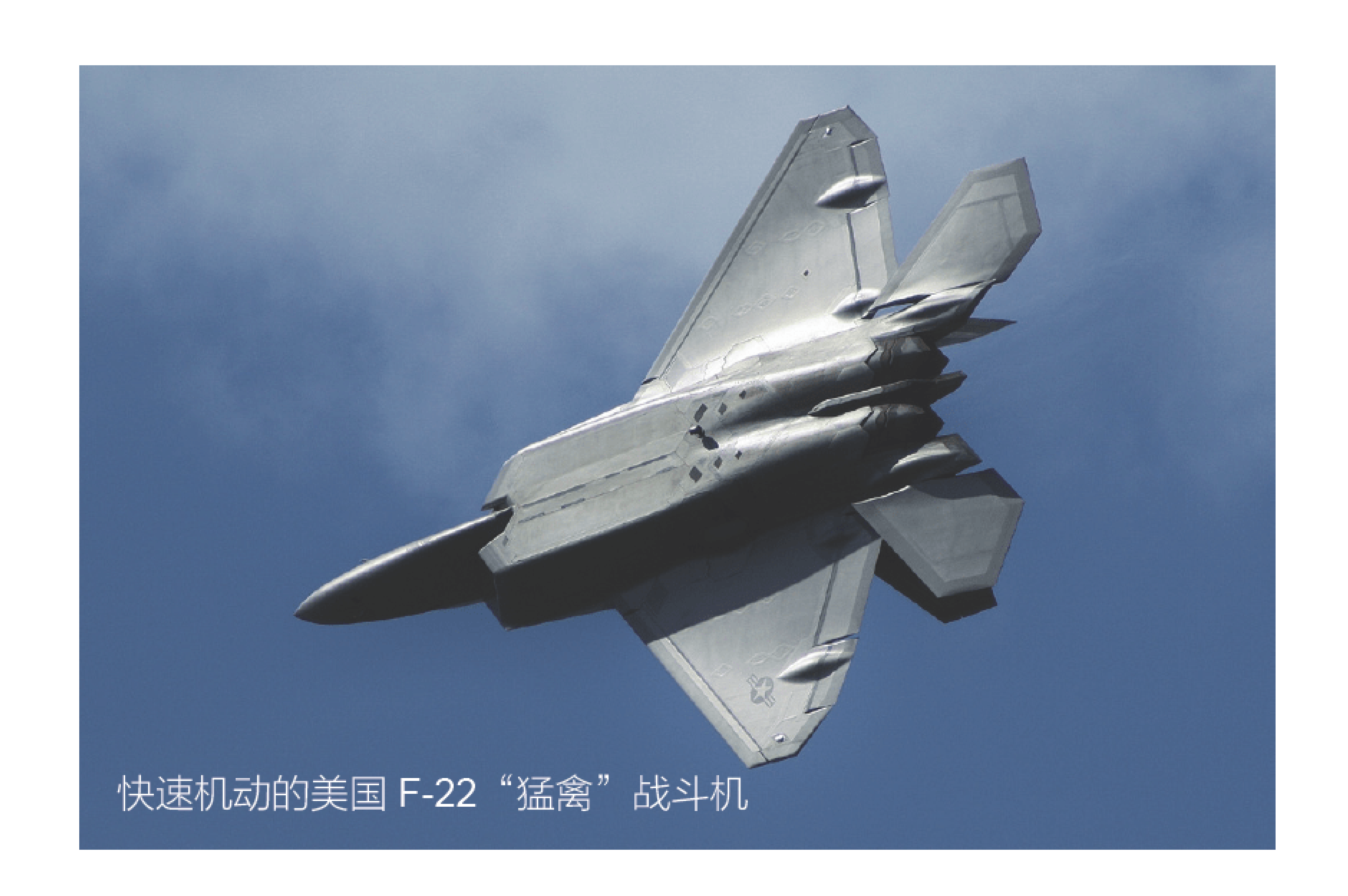




法国“阵风”战斗机进行特技表演


快速机动的法国“阵风”M 型舰载战斗机


俄罗斯苏 -35“超侧卫”战斗机进行特技表演


快速机动的美国 F-22“猛禽”战斗机

NO.75 战斗机实行高低搭配的原因是什么？

战斗机总是有先进、过时之分，传统做法是最先进的战斗机用于空战一线，过时战斗机退居二线，或者用作空战补充，或者转用作战斗轰炸机。以美国为例，在二战时期，美国空军在 P-51“野马”战斗机出现后，P-47“雷电”战斗机就逐渐退出空战一线，改作战斗轰炸机，但这不是高低搭配，而是物尽其用。

P-47 和 P-51 战斗机都是按照当时的最高要求和最先进技术设计的，只是时间差别和技术进步使 P-47 战斗机退出空战一线。战后初期的战斗机也是一样，F-86“佩刀”、F-100“超佩刀”、F-104“星战”、F-4“鬼怪Ⅱ”都是按照最高要求和最先进技术设计的，在服役后期成为“低端”不是设计初衷，而是技术进步使然。在设计时就高低有别的高低搭配是 20 世纪 70 年代出现的概念。

从 20 世纪 50 年代开始，美国战斗机研发和制造成本飙升的问题就已经很严峻，F-108“轻剑”战斗机计划下马的部分原因是作战思想改变，部分原因是成本飙升。F-111“土豚”战斗轰炸机计划成本失控引发了美国军购体系的大规模改革，越南战争的现实促使美国开始重新认识到数量的意义。高低搭配的思想就是在这个背景下提出的：高端保持技术上的全面优势，作为空中攻防的中坚；低端则有所为有所不为，但大大降低的成本使保持足够的数

量成为可能。与过去做法不一样的是，低端不是退居二线的过时战斗机，而是在设计的时候就确定其为高端的补充。由于代差，低端战斗机的性能也往往高于上一代的高端战斗机，在特别优化的关键性能上更加如此。从 F-15/F-16 和 F-14/F-18 开始，高低搭配成为美国战斗机设计的标准做法，F-22/F-35 是最新的高低搭配。从苏 -27/ 米格 -29 开始，苏联战斗机也开始采用高低搭配的做法。


美国空军 F-15“鹰”式战斗机


美国空军 F-16“战隼”战斗机


美国海军 F-14“雄猫”战斗机


美国海军 F/A-18“大黄蜂”战斗 / 攻击机

高端战斗机成本高昂并不是大手大脚的结果，而是技术前沿和性能要求前沿的结果。所以低端战斗机要降低成本，单纯靠精打细算是做不到的，降低成本必然意味着放弃部分作战性能要求。换句话说，低端战斗机要获得相对低廉的成本，关键在于如何在设计中对作战性能要求和基本技术有所取舍。这种取舍并不是将各项性能均匀缩水，而是有选择地缩水，但必须在关键性能上保持最高标准。

一般来说，高低搭配有美国和苏联两种模式。美国模式是“空军制胜论”的结果。尽管在大国中美国空军较晚成为独立军种，美国空军（当时称为陆军航空队）的地位在二战中已经确立。战后美国空军单独成立后不久，艾森

豪威尔的“大规模报复战略”成为美国国家战略，战略空军成为美国军事战略的中坚，一切以核大战为中心。肯尼迪时代的“灵活反应战略”重新强化了战术空军的作用，约翰逊时代的“两个半战争”和尼克松时代的“一个半战争”战略继续强调进攻性空军的作用。这样的进攻性传统决定了美国空军的高低搭配必须满足进攻性空军的要求，高端战斗机担任把空战引向敌人天空的攻势制空，低端战斗机一方面用作高端战斗机数量不足时的填空补缺，但更重要的作用是用作战斗轰炸机，把敌人的战斗机摧毁在地面以配合攻势制空，并在夺取敌人天空制空权之后对敌人地面的一般目标进行广泛攻击。空军的最终作用还在于辅佐或者决定地面的战争。

在这样的指导思想下，作为攻势制空主力的 F-15 战斗机在设计中，就有“一磅重量也不用于对地攻击”的口号。另一方面，“战斗机黑手党”力主轻巧、简单的轻型战斗机，最终导致 F-16 战斗机诞生。但 F-16 战斗机在美国空军的定位是战斗轰炸机，所以最终 F-16 战斗机比“战斗机黑手党”设想的要具有更大的重量，所以具有很大的航程和载弹量，空战方面只要求视距内用红外制导的近程空对空导弹和航炮作格斗空战的能力。就空战能力而言，F-15 战斗机在翼载、推重比、电子系统能力方面全面优于 F-16 战斗机，体现了两者的定位差别。

高端战斗机以制空为主，低端战斗机以对地攻击为主，这个思想在 F-22/F-35 的搭配上也体现非常强。差别在于，F-22 战斗机依然一如既往地注重空战能力，而 F-35 战斗机从一开始就强调作为战斗轰炸机来设计，在航程和载弹量上十分优秀，但作为空战战斗机来说就破绽百出，这也是 F-35 战斗机众多争议中最重要的一个。

相比之下，苏联的高低搭配策略是另一个路子。苏联的基本军事战略是大陆军主义，海军和空军都是配合陆军决战的辅助军种。具体来说，苏联海军的主要使命不是在大洋上寻求对美欧海军的决战，夺取制海权，进而从海上扼杀美欧的战争能力，而是切断美国通过大西洋向欧洲增援的能力以及美国通过太平洋向日本增援的能力，以确保陆军的胜利。在空中，苏联空军的主要使命也是确保进攻中的苏联陆军不受美欧空中力量的袭扰，从空中攻击美欧的地面目标反而是次要任务。

在这样的作战思想指导下，攻势制空不是夺取制空权的一部分，而是前线防空的延伸，或者说是前线防空的额外缓冲。因此，苏联的高低搭配是区域联防式的。苏 -27 和米格 -29 战斗机都以空战为主，在机动性、武器配备和电子系统方面并没有质的差别，这从两者共用 R-27 中程空对空导弹和 R-73

近程空对空导弹作为基本空战武器也可以看出来。但米格 -29 战斗机的机内燃油量和航程明显低于苏 -27 战斗机。换句话说，苏联模式是防空为主，苏 -27 战斗机负责外线防空，米格 -29 战斗机担负责内线防空，两者的分工在于作战空域的远近，而不是空战或对地攻击的差别，对地攻击任务有专用的苏 -24 战斗轰炸机或者米格 -27 攻击机承担。当然，后期米格 -29 战斗机具有多用途能力，可以发射各种空对地武器，双座苏 -27 战斗机也衍生出适合空对地作战的苏 -30 战斗机，但两者的远近分段依然存在。



苏联苏 -27“侧卫”战斗机



苏联米格 -29“支点”战斗机

NO.76 美国A-10“雷电Ⅱ”攻击机被称为“坦克杀手”的原因是什么?

A-10“雷电Ⅱ”攻击机是美国费尔柴德公司生产的一种单座双发攻击机，负责提供对地面部队的近距支援任务，包括攻击敌方战车、武装车辆、重要地面目标等。此外也有一部分负责提供前进空中管制，导引其他攻击机对地面目标进行攻击，这些战机被编号为OA-10。A-10攻击机的官方名称来自二战时在近距支援上有出色表现的P-47“雷电”战斗机，但相对于“雷电Ⅱ”这个名称而言，它更常被美军昵称为“疣猪”（Warthog）。

美国陆军总结越南战争作战经验时，发现空军当时的主力喷气式战斗轰炸机在近距支援任务中都存在同样的问题，包括F-100“超佩刀”、F-105“雷公”、F-4“鬼怪Ⅱ”，都有巡航速度过快、巡航时间极短的问题。巡航速度过快导致飞行员在任务目标区上空停留时间极短，难以有效辨识目标，无法精准提供空中掩护。巡航时间极短则让陆军无法获得持续性火力支援。根据陆军的要求，在20世纪60年代中后期，空军开始招标研发一款新型近距支援战机，它就是A-X计划，也就是后来的A-10攻击机。

虽然A-10攻击机可以大量携带机载武器及各种用途的吊舱，但其主要武器是内置的30毫米GAU-8“复仇者”机炮，这是有史以来威力最大的航空机炮。它可以在1分钟内发射3900发大口径贫铀穿甲弹，其高密度弹头及高速能有效地贯穿坦克装甲。同时，A-10攻击机还可以使用机载“小牛”空对地导弹对装甲目标进行攻击。由于其留空时间长，火力打击猛，载弹量大，对装甲目标包括坦克及装甲车的威胁非常大，因此被称为“坦克杀手”。该机在20世纪80年代被美军主要用来充当低空攻击的角色，专门对付当时部署于东欧的苏联坦克。

在20世纪90年代初的海湾战争中，A-10攻击机第一次参加实战。其间A-10攻击机参加了“沙漠风暴”和“贵族铁砧”等行动，144架A-10攻击机出了将近8100架次任务，一共摧毁了伊拉克超过900辆坦克、2000辆其他战斗车辆以及1200个火炮据点，使其成为战争中效率最高的战机。整场战争期间，美军只损失了4架A-10攻击机。当然，也这与伊拉克军队战力差，武器体系不完全，并且运用的战术也极其落后有关系。

海湾战争后期，伊军主力从科威特沿6号公路向巴士拉退却，军民混杂指挥混乱，大量伊军被堵在公路上动弹不得。这给A-10攻击机发挥火力提供了好机会，大量A-10攻击机将携带的机炮、火箭弹、反坦克导弹一股脑

倾泻下来。据 A-10 攻击机飞行员回忆：从上空掠过伊军燃烧了几十千米的车队，仿佛看到炼狱的场景。炸毁的坦克布满公路，每隔 50 米就有一堆残骸，竟长达 36 千米。此役被称为“死亡公路”之战。而 A-10 攻击机，因从空中轻易摧毁了数百辆坦克而被称为“坦克开罐器”。



A-10 攻击机仰视图



A-10 攻击机编队飞行


停放在跑道上的 A-10 攻击机


满载弹药的 A-10 攻击机

NO.77　美国 AC-130 空中炮艇在现代战争中有多大作用?

所谓的“空中炮艇”，其实就是加装武器的运输机，通常安装机枪或机关炮，甚至大口径火炮以及火箭弹等。它并非如轰炸机或攻击机那样以投掷航空炸弹为主，而是以机关炮对地面目标进行压制射击，也就是所谓的侧面

火力战机。

空中炮艇最早出现在越南战场，当时美军面对大量缺乏防护但数量众多而零散的村庄、车队等目标，对付这些目标以各种口径的枪炮最为有效，且使用费用较为合理。因此美军需要一种火力强大、留空时间长的攻击机。美军很快便将 C-47、C-119、C-130 等运输机进行改装，在机门、机舱侧面等加装搜索瞄准装置和枪炮，增加武器挂架，形成了空中炮艇。

美军称由老旧的 C-47 运输机改装的 AC-47 空中炮艇，执行了多达 6000 次支援任务，受其支援的部队，没有失守一个村庄。AC-47 空中炮艇只有 3 挺加特林机枪和一些照明弹，却做到了 F4"鬼怪Ⅱ"战斗机都无法做到的事情。

鉴于空中炮艇出色的对地攻击能力，美军对其非常重视，先后研发了多种型号，目前现役型号为 AC-130J 和 AC-130U。其中，AC-130U 配备的武器包括 1 门 25 毫米 GAU-12/U 机炮、1 门 40 毫米"博福斯"机炮和 1 门 105 毫米榴弹炮，并配有最新型的目标探测火控系统。得益于新型火控系统，AC-130U 的武器系统可与火控计算机实现联动，进一步提升了射击精度。与越战时期的空中炮艇相比，AC-130U 弹道的密度和弧度变化很大，被称为"阿富汗火龙卷"。

空中炮艇一直处于争议之中，这种重型攻击机要想有所作为，必须建立在绝对制空权的基础上。一旦遇到拥有一定防空能力的敌人，既便只有几枚单兵防空导弹，都可能让它无法发挥什么作用，甚至是非常危险，在战斗机看来，它就是一个活靶子。1991 年 1 月 31 日凌晨，一架 AC-130H 在执行作战任务时，被一名伊拉克士兵发射的单兵防空导弹击落，暴露出空中炮艇在面对拥有较强防空火力的敌军时，仍存在生存力较差的弱点。虽然 AC-130U 可以从更高高度对地射击，降低被低空防空火力命中的概率，但是为了稳妥起见，美军通常选择在夜间派出 AC-130U 作战。

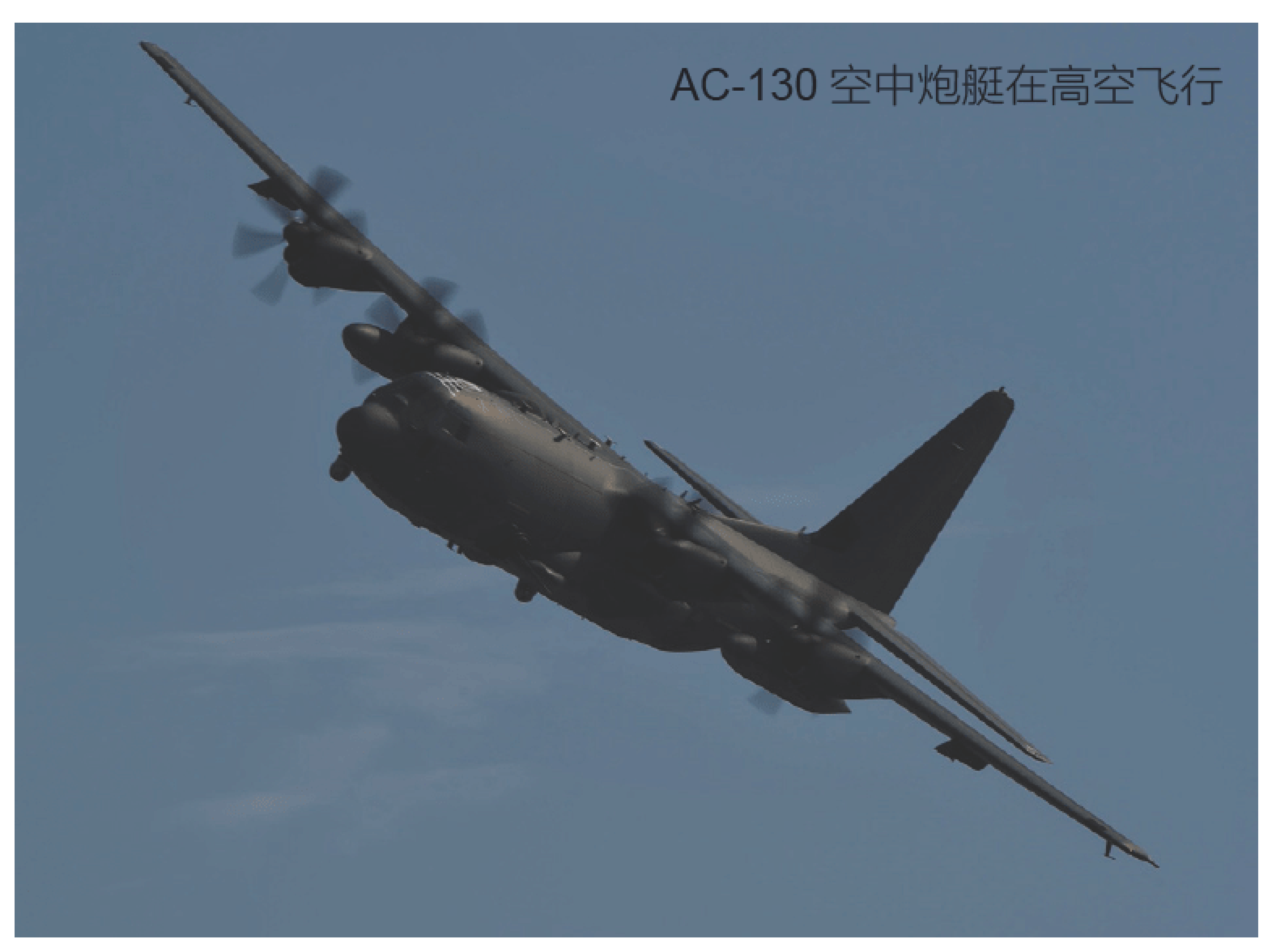
受美国空军将 C-130 运输机改装为空中炮艇的启发，美国海军陆战队也于 2009 年 8 月启动了"收割鹰"计划，将一部分现役的 KC-130J 加油机改装为模块化多用途空中炮艇。经过"收割鹰"改装的 KC-130J 空中炮艇于 2010 年 10 月首次在阿富汗投入实战，结果获得成功。该机至少发射了 39 枚 AGM-114"地狱火"反坦克导弹和 10 枚"狮鹫"微型导弹。

总体来说，虽然 AC-130 空中炮艇的缺点非常明显，但它对于零星分布于地面、缺乏空中火力保护的部队有致命性的打击能力，所以仍能在现代战争中发挥作用。有消息称，美军计划为 AC-130 空中炮艇加装固态激光武器，使其继续服役较长时间。


AC-130 空中炮艇发射干扰弹


停放在跑道上的 AC-130 空中炮艇


AC-130 空中炮艇仰视图


AC-130 空中炮艇在高空飞行



NO.78 现代战争中战略轰炸机还有没有存在的必要?

轰炸机是空军的主战机种之一，自 1914 年首次投入实战至今已有上百年的历史。长期以来，在空军这个长于进攻的战略军种中，轰炸机就好比是进攻之“矛”。在二战中，屡屡实施“千机大轰炸”的轰炸机成为盟军战胜德日法西斯的利器。

自二战结束以来，轰炸机不但能够在战场上携带各种常规弹药执行战役

战术打击任务，更成为核大国“三位一体”核战略力量中机动性能最强，且具有多种作战能力的空中平台。传统的多种轰炸机类型也逐渐向战略轰炸机这一种类型合并。在今天，战略轰炸机是现代化作战体系的重要组成部分，成为“进攻性打击系统”和“主动防御系统”的重要环节，具有不可替代的作用。

当前，随着现代轰炸机的航程、载弹量以及隐身能力不断提高，它不仅成为远程打击的重要手段，更是一个国家和一支军队战略能力的象征。因此，轰炸机被人称为空中战略力量的精髓所在。和平时期，战略轰炸机的一举一动往往体现着一个国家的意志，吸引着世界的目光。拥有战略轰炸机的国家可以通过它的前沿部署、远洋巡逻或军事演习等展示自己的实力，从而在国际政治与安全事务中取得更主动的话语权和更大的活动空间。

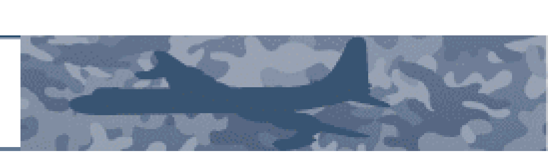
小贴士

2007 年 8 月 17 日，俄罗斯 14 架战略轰炸机从 7 个机场同时起飞，进行了长达 20 小时的远程战斗巡逻。俄罗斯总统普京随即宣布，从即日起俄罗斯恢复自 1992 年停止的战略轰炸机巡航，这成为俄罗斯复兴的一个重要标志。

正因为如此，以美国、俄罗斯为首的航空强国一直把发展大型战略轰炸机作为一项与国家安全紧密相关的重大国策。美国空军目前一直保持着 B-52、B-1B 和 B-2 三大战略轰炸机同时服役的强大阵容。美军同时还认为，只有加快发展下一代战略轰炸机才能继续保持自身绝对领先的地位。

俄罗斯对战略轰炸机也极为重视，认为它是对抗美国导弹防御系统的有效手段。尽管现役的图 -22M、图 -95 和图 -160 三种轰炸机技术不如美国先进，但俄罗斯一直在对它们进行不断的升级改造。如为图 -160 配备可以打击 2500 ~ 2800 千米目标的新一代战略巡航导弹，完善图 -95 的一体化导航和信息保障系统以增加其航程，更新图 -22M 的机载系统以使其能够增装制导炸弹和空对地导弹。经过升级改造，这些服役已久的轰炸机仍然能够发挥战略威慑的作用。

目前，诺斯洛普 • 格鲁曼公司、洛克希德 • 马丁公司和波音公司等军火巨头，都在为美国未来轰炸机的研发展开竞争。据报道，新一代轰炸机将配备下一代传感器、定向能武器，将具备目前空中作战平台所无法实现的强大作战能力。这种新型的远程打击轰炸机将具有超强的隐身性能，既能够挂载常规武器也能够携带核武器，并具有有人驾驶和无人驾驶双重模式。毫无疑问，战略轰炸机仍将是世界军事强国的宠儿。





美国空军B-52轰炸机（左）和B-2轰炸机（右）



英国“火神”战略轰炸机



法国“幻影Ⅳ”战略轰炸机


俄罗斯图 -22M“逆火”战略轰炸机

NO.79 国际组织呼吁禁止使用集束炸弹的原因是什么?

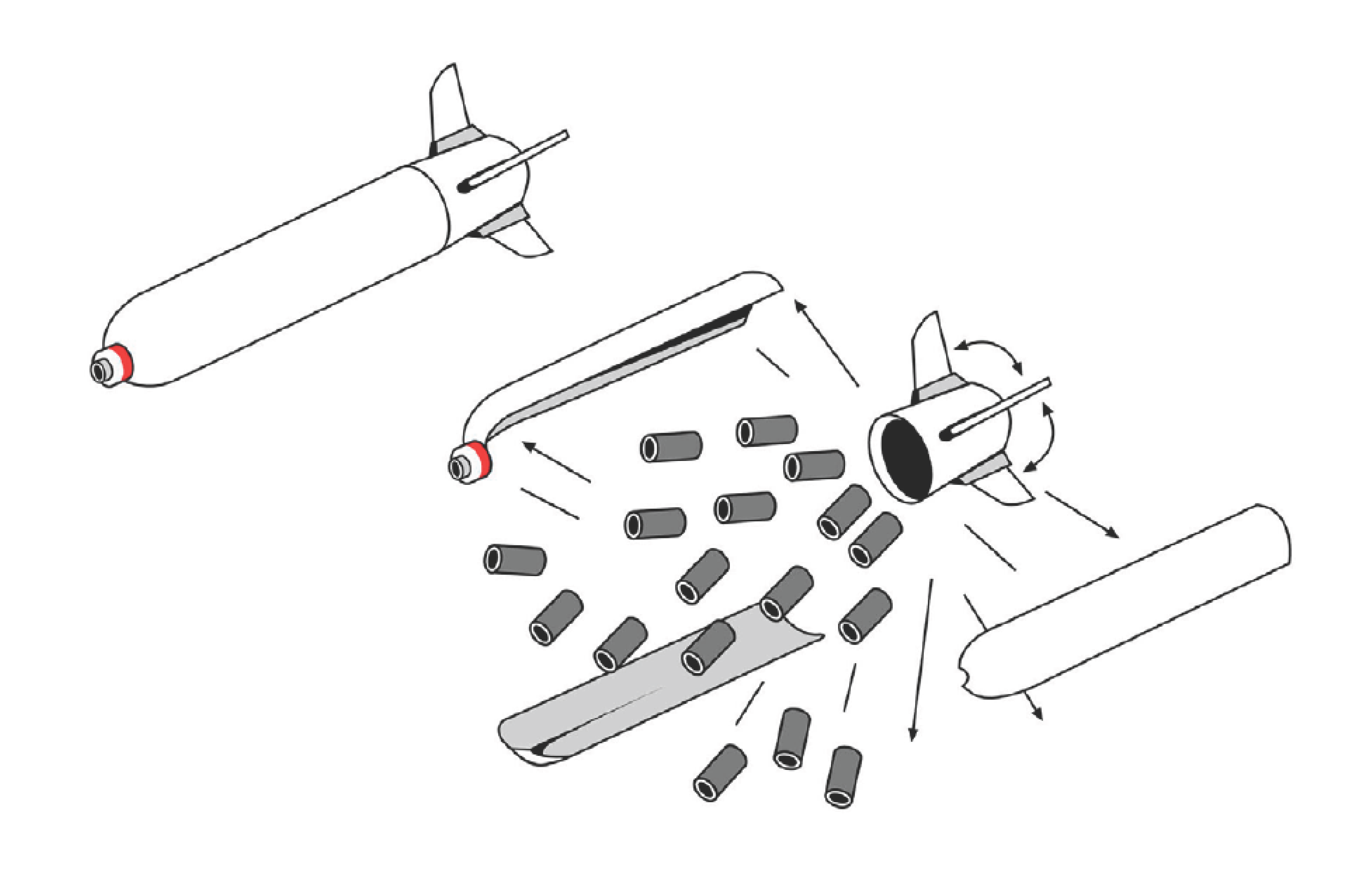
集束炸弹是将小型炸弹集合成一般的空用炸弹的形态，每个小型炸弹称为子炸弹，因此又称子母炸弹。具体是指在与一般炸弹同样大小的弹体中，装入由数个到数百个子炸弹，子炸弹通常是网球般大小的球体。集束炸弹由轰炸机空投之后，在空中分解，借由散布子炸弹到较大范围的地面造成区域性杀伤效果，可用于攻击集群坦克、装甲战斗车辆、部队集结地等集群目标，或机场跑道等大面积目标，具有较强的毁伤能力。集束炸弹容许小规模部队与大规模部队进行交战，因此集束炸弹被认为是一种效费比较高的武器。

按照集束的方式不同，集束炸弹可分为两类：一类是捆扎式的，把多颗小炸弹按一定排列捆在一起，挂在机翼或机身下；另一类是弹箱式的，即把许多小炸弹装在一个弹箱内。弹箱又可分两种。一次使用的弹箱从飞机上投下后，降至一定高度，在空爆炸药作用下解体，抛撒出子炸弹；多次使用的弹箱不投下，子炸弹从弹箱抛出，飞机返航后可于弹箱中重新装弹。

按照构成集束炸弹的小炸弹即子炸弹用途不同，集束炸弹有杀伤子炸弹、反装甲子炸弹、反跑道子炸弹等多种。一颗集束炸弹的子炸弹数量，少则几颗，多则几百颗。由于一系列原因，部分子炸弹往往无法正常发挥功能，例如作战前的搬运、储藏和投放时的操作不当以及由于投放到较松软的地面，集束炸弹就无法正常引爆，许多子炸弹可能不会爆炸。这些没有立即引爆的子炸弹会造成严重的后果，一旦被误触就会爆炸，其杀伤力与一颗反步兵地雷相似。

1991 年海湾战争中就有数万颗子炸弹没有爆炸，在战争结束后的几个月时间里，伊拉克和科威特时常发生因子炸弹爆炸造成人员伤亡的事故。美国政府自己对“沙漠风暴”行动所作的评估报告也表明，包括集束炸弹在内的一些非制导炸弹常常会无法击中目标，并造成连带破坏。有大量的集束炸弹插到地下，有的深达半米，给清除工作带来了很大的麻烦。北约军队在科索沃共投放了 1392 枚集束炸弹，北约认为，有 8% ~ 12% 的炸弹没有爆炸，而且地面上还留有 34744 个没有爆炸的小型子炸弹。

据有关国际机构估计，自 1965 年以来，共有 4 亿多枚集束炸弹被使用在不同国家，造成数万平民伤亡。2000 年 9 月，国际红十字会在日内瓦发表的一份调查报告中呼吁：必须禁止对人口稠密地区的军事目标使用集束炸弹及其他形式的子母弹。2008 年 5 月，全球共 107 国的代表在都柏林达成《集束弹药公约》，同年 12 月在奥斯陆正式开放予各国签署。



集束炸弹原理示意图



美国 F-14“雄猫”战斗机投放集束炸弹


美国 B-1“枪骑兵”轰炸机投放集束炸弹


没有立即爆炸的集束炸弹



NO.80 战略轰炸机携带的核弹在太空爆炸有何后果？

自从第一颗原子弹在新墨西哥的沙漠试爆开始，加上之后广岛、长崎的核弹轰炸，核武器的威力越来越大。从 1945 年美国在新墨西哥的核试验开始，全球已经引爆了 2000 多枚核弹。许多人都对核爆时产生的蘑菇云印象深刻，那是核弹在地球上引爆后出现的可怕景象，让人不寒而栗。那么，核弹在太空引爆后会不会出现相同的景象？

在冷战白热化阶段，美国和苏联反复进行核弹测试，由于担心远程核导弹或卫星发射核弹头系统对地球的破坏，他们把目光投向了天空。美国启动了一项名为“鱼缸计划”的高空核武器试验，其中最令人印象深刻且具有历史性的测试是“海星一号”核试验。1962 年 7 月 9 日，美国引爆了一枚 1.4 兆吨的核弹头，引爆地点位于地球表面上空 400 千米（一般人造卫星的高度）。

不管是在今天还是当时，太空引爆核弹都是疯狂至极的行为，因为由此产生的爆炸以及后果难以想象。因为太空是真空的环境，所以不会出现标志性的蘑菇云，也不会有冲击波。不过，太空核爆炸还是会散发出大量的热和光，而且伴有高强度的伽马射线和 X 射线辐射，因为没有大气层中断射线路径。


地球上核爆炸时产生的蘑菇云

从视觉上看，爆炸大致还是球形的，辐射以及光会照亮整个天空。在爆炸后几分钟，可以看到绵延数千千米的极光，这是由于核爆炸中的带电粒子与地球磁场的相互作用。在爆炸发生后的数小时甚至数天（取决于爆炸威力），依旧能看到光带和带电粒子流。核爆炸会产生相当多的碎片，它们会在上层大气中发生燃烧，重离子也会被大气层吸收。

大量的辐射被投入地球大气中，这会对爆炸下方大面积区域的电磁信号造成影响。那些高电荷、快速移动的电子将产生小型但极其强大的磁场，也就是电磁脉冲。“海星一号”核爆炸导致上千千米之外的夏威夷电力中断，路灯、雷达和导航系统也全部中断，电子通信完全关闭。毫无疑问，太空核爆炸无须利用物理手段就能轻而易举地摧毁一个国家的基础设施。如果“海星一号”的当量进一步加大，其在太空引爆后产生的电磁脉冲足以使整个得克萨斯州瘫痪。

此外，太空核爆炸还会对地球造成一些长期影响，放射性物质落入大气层并不意味着消失。事实上，放射性物质会通过大气环流蔓延到整个地球。

小贴士

核爆炸是核武器或核装置在几微秒的瞬间释放出大量能量的过程。为了便于和普通炸药比较，核武器的爆炸威力，即爆炸释放的能量，用释放相当能量的 TNT 炸药的重量表示，称为 TNT 当量。



博物馆中的美国“胖子”原子弹


美国 B-61 战术核弹

NO.81 美国“炸弹之母”和俄罗斯“炸弹之父”的威力有多大?

“炸弹之母”（Mother Of All Bombs，MOAB）是美国 GBU-43/B 大型空爆炸弹（Massive Ordnance Air Blast bomb，MOAB）的俗称，它是一款超大型全球定位系统导引自由落体炸弹，由美国空军研究实验室研发，并由美国空军实际配用。

大型空爆炸弹也被称为燃料空气炸弹，一度被媒体称为世界上最令人恐怖的武器之一。这种炸弹在使用时，将装有挥发性液体的燃料弹丸发射或投掷到目标上空，在预定的时间内引爆容器、释放燃料，与空气混合形成一定浓度的气溶胶云雾。然后再将气溶胶云雾引爆，产生 2500℃左右的高温火球，并随之产生区域爆轰冲击波。瞬间的高温高压会迅速将周围的氧气消耗掉，产生大量二氧化碳和一氧化碳，导致爆炸现场的氧气含量仅为正常含量的 1/3，而一氧化碳浓度却大大超过允许值，使范围内人员吸入剧毒空气而严重缺氧。遭受打击的人员往往在剧烈挣扎中窒息身亡，给其他士兵带来巨大恐惧。大型空爆炸弹在作战使用上不像核武器那样受到限制，将成为未来战争中一种有效的威慑手段和实用的打击力量。

“炸弹之母”的总重量高达 9800 千克，其高爆装填物为 8500 千克 H6（黑索金、三硝基甲苯和铝的一个易爆组合），能产生相当于 11 吨 TNT 炸药的破坏力，引爆时破坏半径可达 1.6 千米，并将半径 300 至 500 米之内的氧气

燃烧到只有 1/3 浓度。虽然“炸弹之母”的作用经常与核武器比较，但它的威力只有“小男孩”原子弹的千分之一。

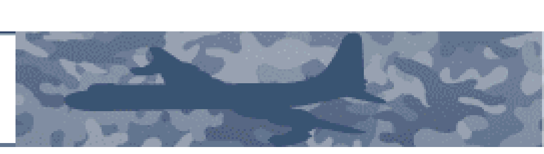
“炸弹之母”因重量与体积关系，无法采用一般的轰炸机挂载，需由 C-130“大力神”运输机投掷。由于“炸弹之母”的特殊毁伤机理，其一般用于打击隐藏在城市、密林、洞穴等复杂地形内的人员。它可以在一定程度上突破掩体的限制，直接对内部的人员进行杀伤，从而获得其他类型炸弹所无法取得的效果。

2017 年 4 月 13 日，美国空军派遣一架 MC-130 特种作战飞机首次在阿富汗使用“炸弹之母”，摧毁了极端恐怖组织所占据的洞穴与地道设施。此举也使“炸弹之母”成为军事史上曾经投入实战过的非核子弹药中重量与破坏力最大的纪录保持者。不过，这个纪录很快就被打破了。2017 年 9 月 7 日，俄军在叙利亚代尔祖尔投下了迄今体积最大的非核炸弹——空投高功率真空炸弹（Aviation Thermobaric Bomb of Increased Power，ATBIP），也就是俗称的“炸弹之父”（Father of All Bombs，FOAB）。

“炸弹之父”采用纳米科技制造，内装 7100 千克新型高爆炸药，尽管总装药量少于“炸弹之母”，但因其配方先进，所以威力反而要大得多。据称，“炸弹之父”的爆炸威力是“炸弹之母”的 4 倍，即相当于 40 多吨的 TNT 炸药。虽然有人质疑“炸弹之父”的威力，但根据俄罗斯军方的消息指出，“炸弹之父”将会取代俄军数种小型核武。



展览中的“炸弹之母”





运输中的“炸弹之母”



“炸弹之母”头部视角

NO.82　地毯式轰炸战术在强调精确制导的现代战争中是否已经过时?

现代战争中，精确制导技术以其无与伦比的精准优势迅速崭露头角，成为当今战场上大国对敌的强有力武器；而一直令各国空军骄傲不已的大规模轰炸手段（地毯式轰炸）也以其强悍的杀伤力和威慑力让各国军方无法割舍。那么，精确制导打击能否完全取代大规模轰炸而成为现代战争中更为实用的打击手段呢?

地毯式轰炸的历史

地毯式轰炸是指像在地板上铺地毯一样使用大量无制导炸弹覆盖轰炸某一地域，杀伤和摧毁该地域的人员和装备。当地毯式轰炸的目标为人口或工业聚集区时，意在达成打击敌方的士气和战争潜力这一战略目的。

意大利军事家杜黑在其 20 世纪 20 年代发表的书籍《制空权》中写道，用空军轰炸敌人的军事、工业、政治和人口中心，就能迫使敌方屈服。这一理论在 1937 年的西班牙内战首次被测试，德国派出的“秃鹰军团”对格尔尼卡进行了地毯式轰炸，这一轰炸被毕加索用艺术手法描绘在同名作品中。西班牙内战中的埃尔马苏科战役则可能是首次针对纯军事目标的地毯式轰炸。

二战期间，交战国多次使用轰炸机对敌方控制下的城市进行地毯式轰炸。同时，还在战术层面使用地毯式轰炸作为空中支援的手段。战争期间，德国空军曾在进攻波兰和荷兰的行动中进行地毯式轰炸，在不列颠空战后期也曾对伦敦等城市进行轰炸。而美国陆军航空兵的地毯式轰炸，无疑为同盟国反法西斯战争的胜利作出了巨大的贡献，正是地毯式轰炸令德国的战争机器不能全力开动，本该生产坦克、火炮的工厂被炸为废墟，说地毯式轰炸摧毁了整个德国都不为过，毕竟失去了后方军工企业源源不断地提供的军事物资，再强大的军队也会失去战斗力。

一般来说，地毯式轰炸是通过众多轰炸机的投弹来完成。但如果目标地域较小，使用单架载弹量较大的轰炸机，也能获得地毯式轰炸的效果。

地毯式轰炸的现状

二战之后，各国空军使用地毯式轰炸战术的次数越来越少。究其原因，主要有以下几个方面：针对城市的地毯式轰炸会造成大量的平民伤亡，可能被视为不道德的战争方式甚至被视作战争犯罪；由于制导武器的发展，使地

毯式轰炸更多地被精确打击所代替；由于战略核武器的出现，只要一枚核弹就可以将中小型城市或军事设施彻底夷平，远比传统地毯式轰炸来得有效率、更具威胁性且较不容易任务失败。

即便如此，地毯式轰炸战术也没有彻底退出军事舞台。在越南战争和海湾战争中，虽然美国空军已经拥有“铺路”系列精确制导炸弹和AGM-65“小牛”空对地导弹等高性能武器，但仍然出动B-52轰炸机投掷普通炸弹进行了地毯式轰炸。

因为地毯式轰炸虽然采用较落后的武器，但作为一种战术进攻方式却有着独特的功效。首先，地毯式轰炸可以大面积地杀伤敌方。其次，持续不断的爆炸声可以涣散敌人的军心，威慑敌军。再次，大量过时的炸弹如果存放在仓库里，需要付出高额的维护费，倒不如扔到敌方的阵地上去。正因为如此，地毯式轰炸这种看似陈旧的战术仍是现代战争中的一张王牌，只要有能力打这张牌，谁都不会轻易放弃。

一般情况下，如果有具体的坐标，并且实行定点清除，那么轰炸机就不需要进行地毯式轰炸，只需要根据任务坐标用精确制导炸弹或者巡航导弹实施精准打击就可以了。这种情况常见于摧毁单个目标，比如地面雷达站或防御工事等。但如果轰炸机需要攻击的是一个区域范围内的目标，则需要使用地毯式轰炸战术，比如对于一个范围非常大的目标基地，需要用火力对整个区域进行打击，这个时候轰炸机就可以倾泻所有的航弹。



美国B-52轰炸机正在投弹

总而言之，轰炸机的地毯式轰炸战术仍然有其价值意义，但是轰炸机并非在所有情况下都会选择地毯式轰炸。因为地毯式轰炸也存在精度低、成本大的问题，如果可以精确制导打击，轰炸机还是会优先选择定点清除的。


俄罗斯图 -160 轰炸机在高空飞行


美国 B-1B 轰炸机及其挂载的武器

英国“胜利者”轰炸机

 NO.83 美国 SR-71“黑鸟”侦察机如何解决持续超音速飞行时的高温问题？

SR-71“黑鸟”（Blackbird）侦察机是美国洛克希德公司的臭鼬工厂于20世纪60年代研制生产的远程高空高速战略侦察机。该机采用了大量当时的先进技术，是第一种成功突破热障的实用型喷气式飞机。

SR-71侦察机的机身93%的结构采用钛合金制造，可承受230℃的气动摩擦温度，发动机尾喷管周围区域的温度更是高达510℃，而这些钛还是在冷战高峰期间，美国中央情报局秘密成立了许多空壳公司向当时钛金属的最大出口国苏联购买，洛克希德公司用各种可行的伪装方法防止被苏联政府得知这些钛的用途。为了降低成本，洛克希德公司使用的是可在较低温度软化而较易加工的钛合金，制成的飞机会涂上暗蓝色（趋近黑色），以加强热辐射冷却与高空的伪装效果。当飞机以3倍音速的速度飞行时，与空气之间的摩擦会产生出大量的热，飞机上的部分位置甚至会被加热到超过500℃，而黑色的漆能帮助SR-71侦察机降低温度。

钛制蒙皮的研究显示，在逐渐像退火一般的剧烈加热过程中，材质会逐

渐强化。为了承受持续超音速飞行时因空气摩擦产生的高温，SR-71 侦察机需要采用一系列专门研制的新材料，包括耐高温燃油、密封剂、润滑油以及其他组件。主翼内侧蒙皮的主要部分其实是皱纹状的。热膨胀会使平滑的蒙皮撕裂或卷曲，而使蒙皮产生皱折让它能向垂直方向伸展，避免应力过强，同时也可增强纵向强度。部分 SR-71 侦察机在机身中心附近有红色警示条，以防止维修人员不慎破坏蒙皮，因为这里的蒙皮薄而易破，很大一块区域的下方都没有结构梁提供额外支撑。

小贴士

退火是一种金属热处理工艺，指的是将金属缓慢加热到一定温度，保持足够时间，然后以适宜速度冷却。

SR-71 侦察机的驾驶舱窗户经常被暴露在 320℃以上的处境中，所以工程师需要在不影响飞行员视角的情况下，用特殊材料解决这个问题——在驾驶舱的玻璃窗上覆盖石英。SR-71 侦察机座舱盖的特殊耐热玻璃可承受 340℃的高温。由于 SR-71 侦察机的飞行高度和速度都超出人体可承受的范围，飞行员和系统操作手必须穿着全密封的飞行服，看上去外观与宇航员类似。飞行服具有自己的氧气加压系统，否则当飞行员飞到 2.4 万米以上的高度时会产生窒息。每小时 3200 千米的速度会使飞行员暴露在 230℃的温度下，所以座舱的空调温度往往被调至冰点以下。


SR-71 侦察机在高空飞行


SR-71 侦察机前方视角


停机坪中的 SR-71 侦察机


SR-71 侦察机及其飞行员

NO.84　大型军用运输机在现代化战争中有何作用?

在军用飞机的大家族中，直接参与作战行动的战斗机、攻击机和轰炸机等主战飞机总是受到人们的格外关注。而对于军用运输机这类后勤机种，一般人很少意识到它在现代战争中发挥的重要作用。事实上，从近年来发生的几场高技术局部战争来看，大型军用运输机均率先出动，动用的规模已接近主战飞机。大规模应用大型军用运输机，直接提高了整个部队的机动和快速反应能力，加强了对战争进程的控制能力，增强了部队的持续作战能力。

综合分析来看，大型军用运输机在现代化战争中的主要作用如下所述。

第一，能够实现作战部队的快速部署。大型军用运输机由于速度快、运载能力大、航程远，因而可以快速空运兵员、作战装备与军用物资到达指定地点，对作战部队实施快速部署或补充，以尽快形成对敌方的最大战略威慑。当威慑力量发挥作用时，甚至可以免动兵戈，而当这种部署不能震慑敌对势力时，这支威慑力量就可以迅速投入战斗。根据分析资料显示，具备战略空运能力是现代化战争胜利的重要保障。美军的战略机动 15% 的运输量是由大型军用运输机完成的，实施远程作战的战略轰炸机、战术战斗机等也主要依靠运输机来保障。

美军运输机部队在历次海外战争中都发挥了重大作用。在海湾战争中，美国第 82 空降师领命后在 48 小时内从美国本土启程，远程奔袭上万千米，作为快速机动力量首先进入沙特阿拉伯，第 101 空中突击师也紧随其后，紧急部署于海湾地区，对后来军事行动的展开起到了举足轻重的作用。在海湾战争的空降作战中，多国部队把主要降落地点选择在伊拉克纵深处。该处伊军的防御力量薄弱，同时又关联伊军纵深的要害目标。多国部队占领该处后，建立“眼镜蛇”前方作战基地，以此为跳板，采取“蛙跳”战术，迅速突入幼发拉底河畔，协助地面部队切断伊军的退路，为击溃伊军创造了先决条件。

第二，能够使部队保持持续作战能力。由于高技术武器装备在现代战争中的大量应用，装备、弹药、油料和其他物资等消耗量异常大，如果不能提供及时的补给和更替，很可能会对战争的结局产生致命影响。要保持部队的持续作战能力，就必须有便捷、快速、高效的大型空运保障力量做支撑。

在伊拉克战争初期，由于美军第三机步师推进速度过快，后勤补给一度出现困难。为尽快摆脱战场被动局面，美军使用其最先进的 C-17“环球霸王

Ⅲ”大型战略运输机，给第 3 机步师及时运送弹药、食品、药品等物资，缓解了供求矛盾。

第三，能够保障执行特种作战以及和平时期执行抗震救灾和国际人道救援等任务。大型军用运输机由于持续航程远，因此在战时可以把执行特种作战任务的成建制部队投放到特定区域，有时甚至连同人和装备同时投运，极大地提高了战争的突然性和有效性。而在越来越多的抗震救灾和国际人道救援行动中，大批的大型军用飞机在人员转移、救灾物资运送、救援人员和装备的运输等方面都曾经大显身手。


美军士兵正在看守阿富汗战场上受损的 C-130“大力神”运输机



美国 C-17“环球霸王Ⅲ”运输机起飞



机头掀起后的美国 C-5“银河”运输机


欧洲 A400M“阿特拉斯”运输机在冰雪环境起飞



NO.85 军用运输机如何进行空投作业？

空投是指利用伞降牵引系统将运输机所载武器装备及其他物资从空中投

送到目标区域的一种技术。现代战争突发性强、作战节奏快、作战强度大、物资消耗大、时效性要求高。因此，空投技术已成为部队战略开进和快速部署的重要支柱。空投在应对突发自然灾害方面，尤其是在陆路和水路交通受损而使救援人员及物资设备无法快速到达的情况下，也具有十分重要的作用。

可靠的固定，是空投成功的必要前提。美国麦克唐纳•道格拉斯公司为了解决“悍马”装甲车在C-17运输机货舱内的移动问题，发明了一系列飞机货舱的系留装置，包括系留环、系留链、系留带、系留网等，它们用于针对不同类型的货物系留使用。除了系留，装货、投货就会还少不了导向、限动装置的帮助。它们就像火车轨道一样，为空投货物提供了导向、限动功能。空投出舱时，按一定的要求解除对货物的限动，货物就会沿导向装置的轨道顺序离机。目前，重装空投形式分为美国的双轨和俄罗斯的中央单轨两类。

有了系留、导向、限动装置，无论是“悍马”装甲车还是各国的主战坦克，都可以固定在飞机货舱，待飞临空投地域，飞机后舱门打开，投出牵引伞，由牵引伞的拉力解除空投货台的限动，将空投货台沿导向装置拖出机舱。牵引伞能否可靠地将货台牵引出舱，直接影响空投的成败和飞机的安全。这需要根据空投物重量及飞机平台操稳性能、空投高度、空投速度等，确定不同重量级空投货台的牵引比，选择适用的牵引伞。而中小件货物不需要牵引伞，是靠重力出舱的。

确保货物空投后能够安全着陆的两大关键就是伞降系统和缓冲系统。货台离机瞬间，由牵引伞拉出辅助引导伞，通过辅助引导伞依次打开稳定减速伞和主伞，主伞在充满空气后，收口张满，使装备减速并平稳降落。缓冲系统主要通过缓冲措施，可进一步减轻装备及物资在落地瞬间所受的冲击。缓冲系统有气囊或者蜂窝结构缓冲系统，甚至还有缓冲火箭系统。因此，针对不同重量和不同类型的货物，会选用不同伞降系统和缓冲系统。

那么如何保证准确空投呢？空投过程还有一个重要的环节，就是空投点解算。通过输入各种参数，详细计算空投轨迹，分析出最佳空投点以保证空投精度。空投是一项复杂的飞行任务过程，除了上述的几种系统或装置，运输机上还设有计算机、监控器、多种控制板、信号指示灯等，与机上其他系统交联，保证空投任务的顺利执行。

常规空投一般在低空进行。随着现代精确制导及控制技术与空投技术的融合，空投系统投放后的控制能力得到极大提高。精确空投系统能使飞机远离敌人的攻击范围，从更高的高度实施空投，且能达到50 ~ 100米的空投精度。


美国 C-17 运输机编队


美国 C-17 运输机正在空投物资



美国 C-130 运输机正在空投物资



NO.86　美国最新一代倾转旋翼机 V-280 有何先进之处?

V-280“勇猛”（Valor）倾转旋翼机是贝尔直升机公司研制的美国第三代倾转旋翼机，在 V-22“鱼鹰”倾转旋翼机及其各类子型的生产计划结束后，V-280 倾转旋翼机很有可能取代 V-22 的位置。V-280 倾转旋翼机已于 2017 年 12 月 18 日完成了首次试飞，计划在 2030 年前入役。

V-280 倾转旋翼机的技术革新

以目前 V-280 倾转旋翼机的性能来看，美国陆军应该对其比较满意。与美国陆军目前常用的 UH-60“黑鹰”直升机相比，V-22 倾转旋翼机在飞行速度和作战半径上都提高了 50% 左右，达到了 509 千米 / 时的最大飞行速度，446 千米 / 时的巡航速度和 722 千米的作战半径；而 V-280 相比 V-22 的性能提升非常之高，美国陆军对于新一代倾斜旋翼机的巡航速度要求只有 425 千米 / 时，而 V-280 达到了 520 千米 / 时的巡航速度与 580 千米 / 时的最大飞行速度，且作战半径根据载重不同，最低 930 千米，最高 1480 千米。即使在吊挂 1 门 M777 榴弹炮的情况下，也能达到接近 300 千米 / 时的巡航速度。

V-280 倾转旋翼机能有如此大的性能提升，说明其技术上的革新之处不

少。首先是全新设计的 V 形尾翼，能同时起到垂直尾翼与水平尾翼的作用，相比常规的四尾翼结构，大大减轻了结构重量。其次是发动机舱，V-22 的发动机舱是全动式，而 V-280 的发动机舱则通过一系列复杂的机械结构，使大部分重量相对集中的部件不需要转动，如此一来，便大大减少了发动机舱的机械结构，对提高可靠性有很大的作用。另外，还规避了另一个问题：避免在起降阶段吸入尘土损害发动机，避免发动机喷出的热流烧伤人员。这一设计早在 V-22 研发时就有过尝试，不过因为各种复杂的技术问题，直到 V-280 才用上。

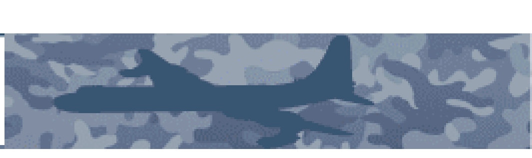
V-280 倾转旋翼机的隐身版本

为了提高 V-280 倾转旋翼机的生存能力，贝尔直升机的设计师还在研发隐身版 V-280。与常规版 V-280 机身外形不同，隐身版 V-280 采用了几何学隐身技术，机身形状更加扁平，发动机短舱、变速箱以及机头部位都采用了利于隐身的扁平化造型，整个机体变得更加低矮，由此降低了自身的可探测性能，提高了战场上的生存能力。

此外，与常规版 V-280 采用的上反 V 形尾翼不同，隐身版 V-280 采用的是下反 V 形尾翼，所以隐身版 V-280 的机翼很有可能会像 V-22 一样旋转至与机身平行，缩小飞机占用的空间，从而能够被收入两栖攻击舰等军舰的机库内，随舰执行任务。值得一提的是，隐身版 V-280 还可以挂载“地狱火”反坦克导弹，具备了对地面装甲目标的攻击能力。



V-280 倾转旋翼机侧面视角

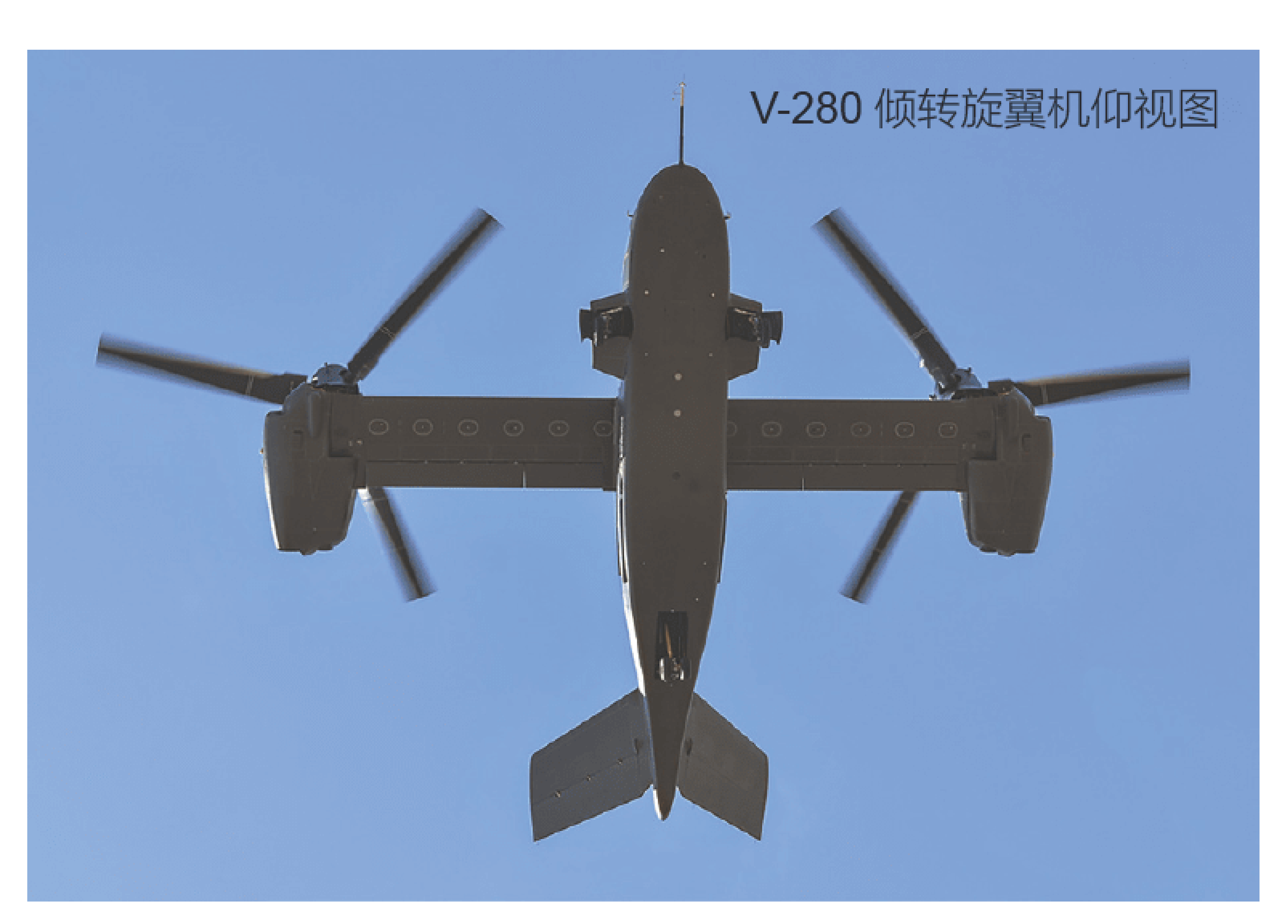




V-280 倾转旋翼机与 M1 主战坦克协同作战



V-280 倾转旋翼机在低空飞行



V-280 倾转旋翼机仰视图

NO.87 预警机如何探测隐身战斗机?

隐身与反隐身是目前武器装备研制的一个新趋势，对于新型战斗机来说，隐身是一个非常重要的性能衡量指标。隐身战斗机被形象地喻为“空中幽灵”，它们行踪诡秘，能有效地躲避雷达跟踪。然而，隐身战斗机也并非毫无破绽，先进预警机就有一些绝招，可以实现对隐身战机的探测发现。具体来说，预警机探测隐身战斗机，主要有以下三种方法。

第一，将雷达工作频段从微波波段降低到米波波段。采用低频段的雷达由于存在电波反射的谐振效应，隐身战斗机对雷达电波的反射能力将提高 1 ~ 2 个数量级以上。采用低频段后，由于目标反射能力的增强，在其他条件相同的情况下，对隐身战斗机的探测距离可以增加 1 倍以上。例如，F-22“猛禽”战斗机的雷达反射截面积为 0.01 平方米，这是指 X 波段；而如果 F-22 战斗机被工作在 UHF 波段的雷达照射，其反射截面积可能高达 0.5 平方米以上，这样探测距离就能够增加 2.34 倍。

第二，将预警机雷达组网。在预警机雷达组成的网络中，由于雷达功率、天线面积、频段的不同，或者不同的雷达能够探测到隐身战斗机的不同侧面，有的雷达就能够观测到隐身战斗机，这样组网后的预警机雷达就能较好地探测到隐身战斗机。例如，F-22 战斗机的雷达反射截面积是 0.01 平方米，指的是飞机的迎头方向；如果是侧面或尾后方向，F-22 战斗机的雷达反射截面积要大几十倍甚至上百倍。只要组网预警机雷达中的某个雷达发现目标信息，就可以通过数据链发往其他雷达或预警机，从而共享情报。



正在执行任务的美国 E-3“望楼”预警机

第三，依靠机载的有源相控阵雷达实现有效探测。有源相控阵技术本身具有很大的提高雷达作用距离的作用，这是因为有



源相控阵在时间和能量的分配上有更多的灵活性，可以通过增加照射目标时间的办法增加回波能量，从而扩展对雷达的作用距离。此外，有源相控阵辐射出的功率是成千上万个收发组件发出功率的合成，在同样的载机上，就有可能安装更多数量的收发组件，从而提高雷达的探测距离。



日本 E-767 预警机在高空飞行



以色列“海雕”预警机在高空飞行


瑞典 SAAB 340 预警机在高空飞行



NO.88　空中加油机如何为飞行中的飞机加油？

空中加油机是专门给正在飞行中的飞机和直升机补充燃料的飞机，它能使受油机增大航程，并且延长续航时间，增加有效载重，提高远程作战能力。空中加油机多由大型运输机或战略轰炸机改装而成，加油设备大多装在机身尾部或机翼下吊舱内，由飞行员或加油员操纵。

空中加油方式

空中加油机的加油设备有软管加油系统和硬管加油系统两种。软管加油系统又称插头锥套式加油系统，装在机身尾部或机翼下的吊舱内，由输油软管及其卷盘、压力输油机构和座舱内的控制显示装置等部分组成。软管长度一般为 16 ~ 30 米，软管末端有锥套，其外形呈伞状，内有加油接头。受油机在机头或机身背部装有受油口。加油时，加油机在受油机的前上方飞行，飞行员或加油员打开输油管卷盘锁定机构放出输油管，锥套受气流作用展开，将输油软管拖出。与此同时，受油机飞行员调整飞机的高度、速度和航向，从下方靠近加油机。待受油管插进输油管锥套并锁定时，油路自动接通开始加油。一架加油机最多可装 3 套软管加油系统，一套装在机身尾部，另两套装在机翼下吊舱内，可同时为 3 架飞机加油。

硬管加油系统又称伸缩管加油系统，一般装在机身尾部，由伸缩管、压

力输油机和控制显示装置组成。伸缩管包括主管和套管，主管外壁有升降索和稳定舵。进行空中加油时，加油机利用升降索放下伸缩管，在气流作用下，稳定舵保持伸缩管稳定，套管从主管内伸出。与此同时，受油机从下方靠近加油机，使受油口与套管对接，开始加油。用这种加油设备一次只能给 1 架飞机加油。如果在两个吊舱内各装一套软管加油系统，也可同时给 3 架飞机加油。

空中加油过程

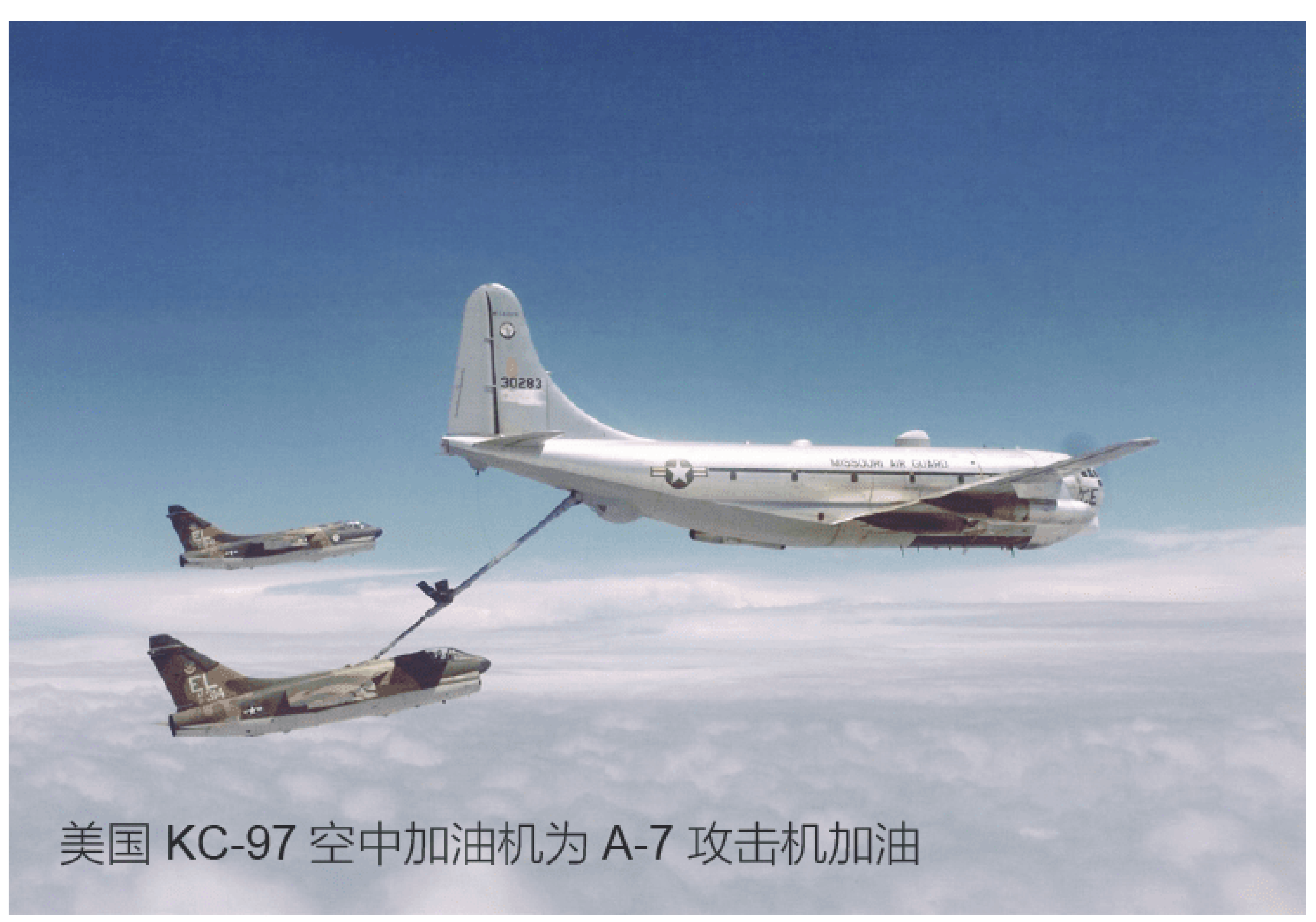
空中加油是一个复杂的过程，加油程序一般有 4 个阶段。第一个阶段是会合：加油机和受油机有 4 种会合方式。一是同航线会合，就是加油机和受油机在同一航线上的某处会合；二是定时会合，要求加油机和受油机定出加油协调要求和特定会合时间，按时在指定空域会合；三是对飞会合，就是两架飞机正面飞行，相互靠拢，然后受油机按加油机前进方向作 180 度转弯，把航向转到加油机方向，并在前方约 5 千米处做好加油准备；四是待机会合，就是由空中预警机与加油机、受油机进行通信联络，并向加油机发出航向和速度指令，同时引导受油机与加油机会合，直到受油机飞行员能用雷达或目视发现加油机为止，然后受油机再进入受油位置。无论采用何种会合方式，受油机均应比加油机高度低 60 米。

第二个阶段是对接。这是空中加油的一个关键环节，必须严格按照技术要求和操作程序进行。受油机带弹时，应采取严格的安全措施。受油机带有射击武器时，尤其要注意安全，除加油和通话开关外，飞行员不得触及其他电子开关。

第三个阶段是加油。此时装在吊舱内的燃油泵将加油箱内的燃油经输油管输往受油机各油箱，加油机上的加油控制板能随时将输出的油量以及加油压力和其他加油附件的工作情况显示出来。受油机上各油箱的附件情况也在一定位置上显示出来。加油时，受油机与加油机的高度、速度、相对位置都必须严格保持不变。当受油机加进一部分燃油后，飞机重量就会增加，而加油机重量又会减轻，两机必须随时调整飞机的速度和姿态，以保证顺利实施加油。

第四个阶段是解散。这是加油的最后一个程序，受油机受油完毕后，各油箱加油开关自动关闭，加油结束信号灯亮，受油机减速脱离停止加油。加油机由于加油管中燃油停止流动，由吊舱的相应机构控制油泵停止工作，并在座舱的加油控制板上显示，由传动机构收回加油管。


采用软管加油系统的英国 VC-10K 空中加油机


美国 KC-97 空中加油机为 A-7 攻击机加油


美国 KC-10 空中加油机为 V-22 倾转旋翼机加油


俄罗斯 IL-78 空中加油机准备为 2 架苏 -34 战斗机加油


欧洲 A310 MRTT 空中加油机为 2 架战斗机加油

NO.89 军用飞机空中放油的原因是什么?

不管是军用飞机还是民用飞机，空中放油（Dumping Fuel）都是一项重要的安全措施。因为飞机都存在一个最大着陆重量限制，如果高于这个重量降落，就会因飞机结构或者起落架无法承受着陆时产生的冲击而发生事故。

飞机的最大着陆重量肯定远小于最大起飞重量，这是因为飞机降落时机身和起落架承受的过载远大于起飞。所以飞机降落时必须处于最大降落重量

以下才能保证降落安全。对于较小型的战斗机来说，可以通过抛弃外挂副油箱和武器来减重，对于大型飞机来说，最快捷的减重方法就是空中放油了。

通过空中放油，飞机可以把重量快速降低到最大起飞重量以下，以保证降落安全。例如飞机起飞后不久就因故障或特殊原因需要紧急降落时，就需要盘旋放油减重。另外，如果飞机因起落架无法放下需要进行紧急机腹迫降时，不管重量是否在最大降落重量以下，都需要空中放油，因为这样能把降落时因摩擦产生火花而引燃内部油箱的风险控制在最小。

此外，还有一种空中放油是出于表演目的。例如，美国 F-111 “土豚”战斗轰炸机具备一项独特的放油喷火绝技，使它在航展表演中备受好评。这项绝技就是飞行中喷火，F-111 战斗轰炸机的放油口被设置在两个尾喷管间的尾锥末端，可能是某位试飞员在无意中发现，一边放油一边开加力就能在机尾烧出一片巨大的火焰，于是这项学名为“放油和点火”的绝技就成为 F-111 战斗轰炸机在航展上的保留节目。在一些国家的阅兵式上，战斗机也会表演放油拉烟。

值得一提的是，飞机空中放油对环境有一定污染，但污染的程度不重，对居民的影响相对较小。另外，飞机空中放油并不会落到地面的人身上，因为飞机放出的燃油会很快雾化，变成悬浮在空中的细小油滴微粒，然后挥发成气体消散，不会落向地面。



美国 F-111 “土豚”战斗轰炸机表演飞行中喷火

小贴士

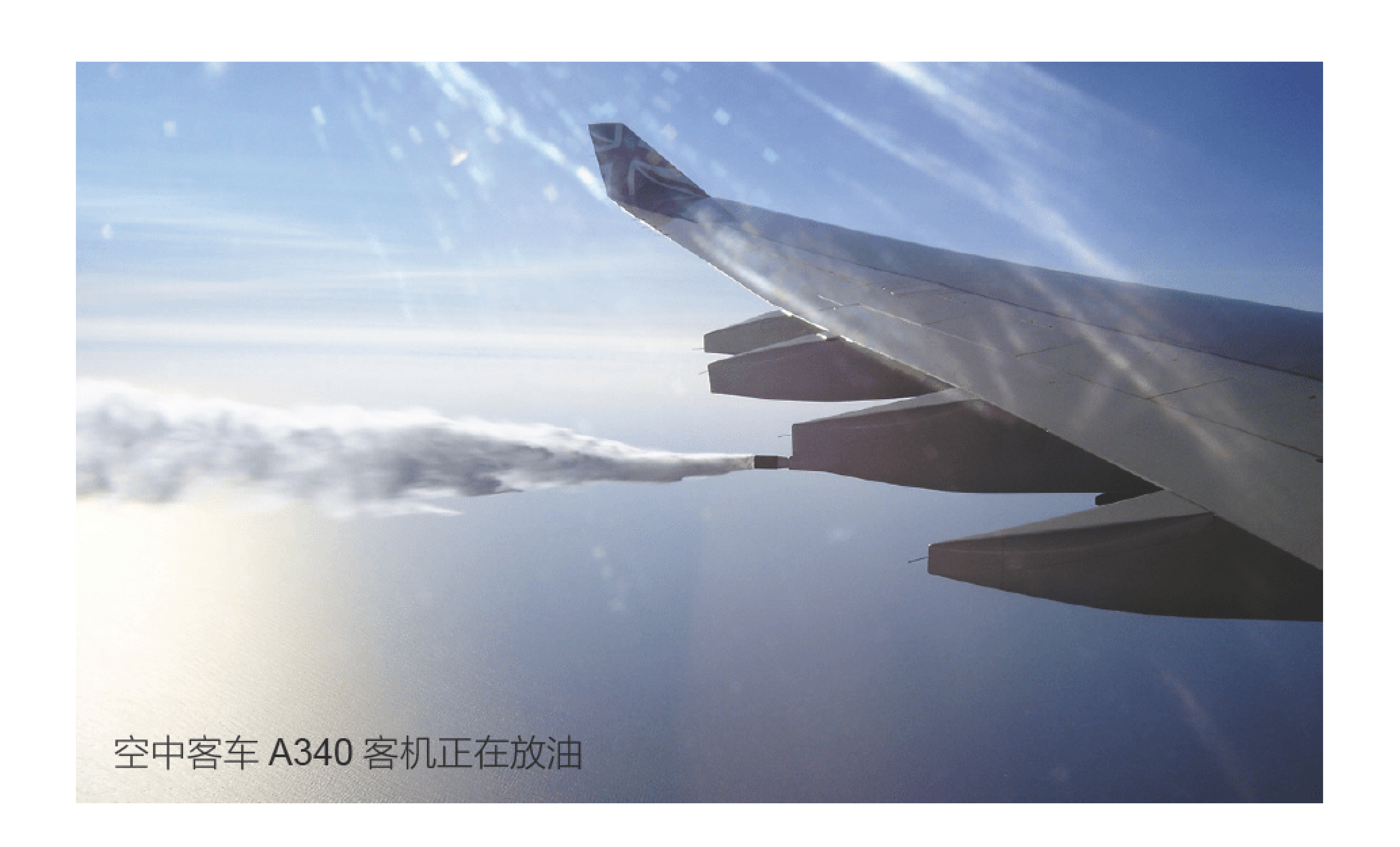
每年全球各地都会发生多次航班迫降事件，飞行员为了安全考虑都会空中放油，累计一年下来，飞机要往地球大气中排放数百万吨航空煤油。为了避免油污污染，沿海城市的放油区多选择在外海上空，一是因为在外海放油，空气污染对居民的影响较小。另外一点，万一飞机情况不妙，坠落海面机上人员的生还概率更高一些。



俄罗斯苏-57战斗机进行放油操作



美国海军EA-1F舰载机着舰前在空中放油


空中客车 A340 客机正在放油



NO.90 电子战飞机如何执行电子战任务?

电子战飞机是一种专门对敌方雷达、电子制导系统和无线电通信设备进行电子侦察、干扰和攻击的飞机。其主要任务是使敌方空防体系失效，掩护已方飞机顺利执行攻击任务。

电子战飞机的发展历史

二战期间，伴随电子雷达的出现，电子战开始应用于战争。许多参战国都研制出针对雷达的积极干扰设备、电子告警器和消极干扰物，并将其安装在轰炸机上或由轰炸机携带投放，早期的电子战飞机诞生了。

二战后，随着防空雷达技术的不断发展，简单的干扰手段已无法保护自身的安全，因而出现了载有完善干扰设备、专门用来干扰敌方雷达和通信系统的飞机。20 世纪 50 年代，美国研制出第一架真正意义上的电子战飞机——EB-66 电子干扰机。大部分战斗机和攻击机，都开始配备较完善的机载自卫干扰系统。

20 世纪 70 年代以后，机载电子对抗技术有了明显的提高，电子对抗设备日趋完善，电磁频谱应用的范围不断扩大。1982 年的贝卡谷地之战，以军把电子对抗技术和电子战战术发挥得淋漓尽致，以极小的代价，取得了一举将叙军 19 个地空导弹阵地全部摧毁的胜利。此战，成为现代电子战的典范。

20 世纪 90 年代初的海湾战争是另一场规模更大，以电子战为发端，且电磁斗争贯穿始终的现代战争。在“沙漠风暴”开始之前 5 个小时，多国部队就派出 EA-6B、EF-111、F-4G、EC-130 等专用电子对抗飞机，对伊拉克境内的雷达、通信、指挥设施和防空系统进行了强烈的电磁干扰。大规模空袭发起后的头一个小时内，在前头开路的 F-4G 等飞机，就向伊军雷达和防空阵地发射了 200 余枚高速反辐射导弹，从而保障了攻击编队的安全突防。多国部队实施的电子战，造成了伊军通信中断、雷达迷盲、指挥瘫痪、防空导弹失灵，大大提高了己方作战飞机的生存率和行动自由度。


美国 F-4G“野鼬鼠”反雷达飞机

时至今日，电子战飞机仍然在战争中发挥着重要作用。未来，电子战飞机发展的主要趋势是进一步扩展频率覆盖范围，增大干扰的等效辐射功率，提高自动化程度和对雷达袭击的命中率，研制多用途无人驾驶电子战飞机。在不久的将来，新型隐形材料和动力系统的使用，将使电子战飞机的表现更上一层楼。



美国 EC-130H 电子战飞机编队

电子战飞机的作战手段

现代电子战飞机包括电子侦察飞机、电子干扰飞机和反雷达飞机。它们基本上是由轰炸机、战斗轰炸机、运输机、攻击机等改装而成的。美国的电子战飞机主要有 EF-111A“渡鸦”、EA-3B“空中战士”、EA-6A“入侵者”、EA-6B“徘徊者”、EC-121“星座”等型号。俄罗斯的电子战飞机主要有雅克 -28E、伊尔 -20“黑鸭”等型号。

电子侦察飞机装有多频段、多功能、多用途电子侦察和监视设备，主要用于飞临敌国边境附近或内陆上空，对敌电磁辐射源进行监视、截获、识别、分析、定位和记录，获取有关敌方雷达、通信、武器信息以及电力线和汽车行驶时发出的电磁辐射等情报，供事后分析或实时将数据传送给己方指挥中心和作战部队，为实施电子对抗和其他作战行动提供依据。

电子干扰飞机装备多频段、大功率雷达和通信噪声干扰机、雷达告警系统、欺骗式干扰和箔条 / 红外无源干扰物投放器等，主要用于执行电子战支援干扰，压制敌防空系统，以掩护攻击机群实施突防和攻击。电子干扰飞机的支援干扰方式可分为以下三种。

（1）远距支援干扰。由多架电子干扰飞机组成多个编队，在中空距敌目标 100 ～ 120 千米的安全阵位上，实施多方位、大纵深、宽正面的电子干扰，压制敌防空雷达网、战略战术通信网和防空火力网中的制导与瞄准系统，掩护攻击机群隐蔽突入敌目标区上空执行任务和安全返航。

（2）远距支援干扰。以 3 ～ 4 架电子干扰飞机伴随攻击机群飞临敌目标区附近，此后脱离编队，在距目标区较近的前沿上空做中空或低空盘旋，施放中功率噪声干扰、欺骗干扰以及箔条干扰，掩护攻击机群突袭敌方目标，空袭完成后伴随攻击机群返航。

（3）随队支援干扰。干扰飞机与攻击机群混合编队突入敌目标区上空，干扰飞机沿航线在编队内施放噪声干扰、欺骗干扰和箔条干扰，压制敌防空火力网的电子系统，掩护攻击机群实施空袭。

反雷达飞机是一种压制敌防空火力的“硬杀伤”电子战飞机，如美国的 F-4G“野鼬鼠”反雷达飞机，机上载有 AN/APR-38/47 雷达告警接收机 / 电子战支援系统和“哈姆”高速反辐射导弹、集束炸弹和空空导弹，还有自卫用的有源干扰吊舱和无源干扰物投放器。这种飞机的主要任务是用反辐射导弹直接摧毁敌地面雷达和杀伤其操作人员。

总体来说，现代电子战飞机主要采用电子干扰、电子欺骗和电子摧毁三种作战手段。电子干扰是利用多频段杂波对电磁信号进行遮蔽，导致敌方电

子通信系统瘫痪；电子欺骗是通过解析对方电子信号频率，然后利用相同频率的电子信号对敌方电子系统进行欺骗；电子摧毁是利用大功率微波和电磁脉冲或反辐射导弹对敌方的电子系统进行软硬打击，特别是大功率微波和电磁脉冲可使电路产生瞬时高压，从而烧坏电路板，使电子系统彻底瘫痪。



美国 EF-111A“渡鸦”电子战飞机在高空飞行



低空飞行的美国 EA-6B“徘徊者”电子战飞机



美国 EA-18G“咆哮者”电子战飞机编队飞行



NO.91 反潜巡逻机如何执行反潜任务？

反潜巡逻机可分为岸基反潜巡逻机和水上反潜巡逻机，主要用于对潜艇搜索、攻击，与其他装备、兵力共同构成反潜警戒线。与其他反潜平台相比，反潜巡逻机具有速度快、范围大、效率高、能力强、威力大等特点，所以是现代反潜力量的重要组成部分。

现代反潜巡逻机一般是专门研制的，最高时速在 700 千米左右，可持续巡逻 12 ~ 22 小时，载有两组空勤人员轮换作业，低空性能好。机上装有反潜搜索雷达、声呐浮标、红外探测仪、激光探测仪、微光电视探测仪、磁力探测仪、水质分析器、气体分析器和电子监听器等先进设备，可对潜艇进行全天候的搜索和跟踪。机载武器有普通炸弹，深水炸弹、鱼雷、水雷、反舰和反潜导弹及火箭、机炮等，可自行对潜艇进行攻击或引导己方其他反潜兵力进行攻击。

搜索探测是反潜巡逻机实施反潜的第一步，是整个反潜过程中极其关键的一环。如今，反潜巡逻机搜索探测潜艇的手段很多：既有目视观察和雷达

探测，也可使用声呐浮标、吊放声呐（通常水上反潜巡逻机才配备）、磁异探测仪探测水下潜艇，还可以用红外探测仪、废气探测仪，电场分析仪、激光探测仪等搜索潜艇。

反潜巡逻机的搜索航线应根据使用的探测设备确定：在使用雷达、磁异探测仪搜索时，一般采用指定航线搜索法或平行搜索法；在使用声呐浮标搜索时，主要采用机动飞行以接收声呐浮标发射的信息。

反潜巡逻机搜索探测到水下异常情况后，便会结合各种探测信息和情报对水下目标进行识别，包括技术识别和战术识别。技术识别要判明是不是潜艇，而战术识别要确认所发现的潜艇是不是敌方潜艇。然后，再根据反潜机上的导航设备和探器材探测到的潜艇信号确定潜艇的准确位置。在连续准确测定潜艇的运动要素，并计算出准确的攻潜位置后，反潜巡逻机就可以根据需要选择使用导弹、火箭或普通炸弹去攻击水面航行的潜艇；而对于水下航行的潜艇，则采用反潜导弹、反潜鱼雷和深水炸弹实施攻击。

反潜巡逻机一般有独立反潜和协同反潜两种作战形式。协同反潜时，反潜巡逻机还可担负反潜作战的空中指挥任务，统一协调各反潜兵力的行动，此时飞机所处的位置应考虑各种兵力的活动范围，保证对各反潜兵力实施及时有效的指挥。



美国 P-8“波塞冬”反潜巡逻机



俄罗斯图 -142 反潜巡逻机（上）和美国 P-3“猎户座”反潜巡逻机（下）



英国“猎迷”反潜巡逻机



日本 P-1 反潜巡逻机



NO.92　军用教练机能不能参加实战?

教练机是训练飞行员从最初级的飞行技术到能够单独飞行与完成指定任务的特殊机种。常见的教练机分类方式有两种，分别是两级制与三级制。两级制可分为初级与高级教练机。三级制可分为初级、中级与高级教练机。

初级教练机，是供没有飞行经验与技术的新飞行员，初次接受训练的机种。它有着操作简单，不容易失去控制的特性。几乎所有的初级教练机都是螺旋桨推进，速度较低的机种；中级教练机是供已经具备基本的飞行技术和经验，能够接受更为复杂的飞行训练的飞行员进行训练的机种。中级教练机的性能需求接近初级教练机，但是机动性能要求较高，有些中级教练机还具备携带武器的能力。

高级教练机，是军用飞行员基本训练的最后阶段，完成高级教练机的训练之后就可以分配到部队，飞行现役的机种。高级教练机多半是喷气式飞机，以协助飞行员，尤其是将要操作主战机种的飞行员熟悉喷气式飞机的特性。如果是分配操作多发动机的机型，譬如运输机，高级教练机也会采用类似的多发动机机种，以协助飞行员适应不同的操作环境。

高级教练机在设计上非常重视攻击能力，许多方面与真正的战斗机差距不大，可以挂载各种武器，某些高级教练机其实就是由战斗机发展而来。许多高级教练机都具备教练、轻型战斗 / 攻击机的性能，许多买不起先进战斗机的国家往往购买价格低廉的高级教练机，所以高级教练机也被称为“穷国的战斗机”。

事实上，使用教练机参加实战的例子非常多。二战期间，苏军就曾使用波 -2 初级教练机担任对地攻击机，专门在夜间使用，让德军相当头痛。战后，教练机一般不执行战斗任务，在设计的时候也不考虑挂载武器的能力。但从 20 世纪 60 年代开始，欧洲各国开始流行“全程教练机”，希望用一种教练机完成从初教一直到高教的全部飞行训练。这在经济上可以减少机型，降低总采购成本；在技术上由于发动机和飞控的发展，初学的新学员也可以从较为先进的教练机直接入手。由于高级教练机具有良好的飞行性能，赋予高级教练机一定的战斗能力也成为一种时髦，成为所谓的教练 / 攻击机。英国的“鹰”式和法德合作的“阿尔法喷气”教练机都是这个时代的产物。

“鹰”式教练机也是从一开始就具有对地攻击能力，后来索性发展成单座型，供第三世界国家空军作为高亚音速战斗机使用。“阿尔法喷气”教练

机从一开始就是对教练机和攻击机同等强调的，在德国空军里，“阿尔法喷气”飞机就是标准的攻击机，法国空军也用“阿尔法喷气”补充“美洲豹”攻击机。

至此，教练机的作战能力成为教练机设计指标的一部分，使教练机的设计成为非常微妙的一个问题。这不是一个技术上能不能实现的问题，而是一个设计基准的选择问题。换句话说，在技术上，教练机几乎可以具有现代战斗机的一切能力，但这样做将在经济上使教练机丧失采购和运行成本低的特点。

时至今日，一些国家仍在使用教练机执行低烈度的作战任务。不过，这种做法只是一种无奈之举，一般有足够军备和军费的国家几乎不会使用教练机进行实战。



英国“鹰”式教练机



法国“阿尔法喷气”教练机





韩国 T-50“金鹰”教练机


瑞士 PC-9 教练机


意大利 M-346“大师”教练机

NO.93 美国总统专机“空军一号”有何特别之处?

“空军一号”（Air Force One）是美国总统的专机，它是名副其实的“空中白宫”，奉行“总统在地上能干什么，在空中也照干”的原则，也被称为“飞行的椭圆形办公室”。

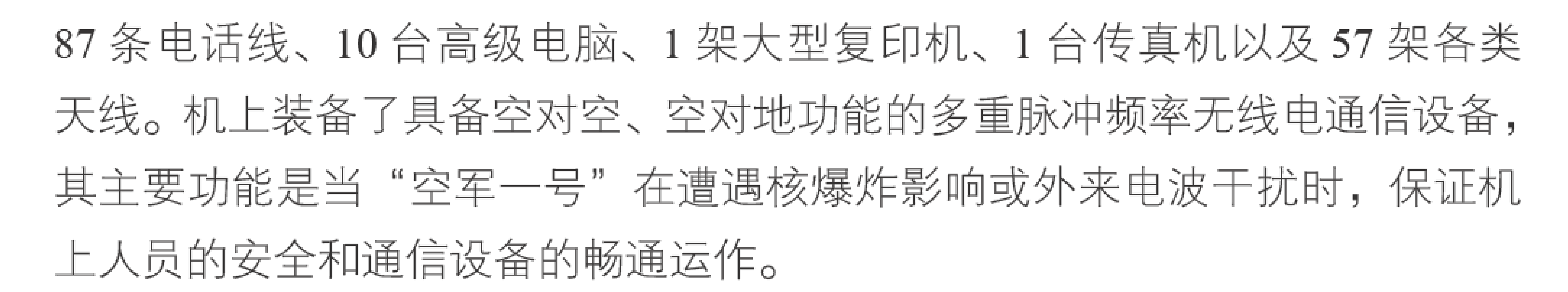
严格来说，“空军一号”只是一个象征性的称号，在美国空军内部，它不区分飞机的种类与数量，只要是美国现任总统的座机，都统称为“空军一号”。也就是说只要是隶属于美国空军的飞机，无论哪架，只要美国现任总统乘坐，从登上飞机的那一刻起，该飞机即被称作“空军一号”。目前，美国总统最常用的是两架 VC-25A 飞机，尾号为 SAM 28000 和 SAM 29000，两架飞机都是改装过的波音 747-2G4B 民航客机。

内部构造

“空军一号”主要改装了飞机的内部装潢和设施，以更适合总统在空中行使其职责。飞机最下层的机舱通常用作货舱，大多数乘客房间位于中层机舱，而上层机舱主要用于装载通信设备。机上共有近 400 平米的空间，可充裕地容纳 70 名乘客和 26 名乘务人员。总统拥有一个“总统套房”，起居室内有席梦思床、真皮沙发、高级地毯、电动窗帘等；套房内还有一间浴室，淋浴设备齐全。起居室的隔壁就是总统椭圆形办公室，另外还有一间工作室，里面配有最新的录影设备、投射荧幕、地图。专机上还有第一夫人专用房间、高级官员房间等。机身中段是供总统助手、记者及其他工作人员使用的休息室。

“空军一号”的下层空间还有一个大餐厅和两个具有现代化功能的“空中厨房”，可以同时满足 100 多人的就餐需要。飞机上的食品采集属于随机模式，为了保证总统的食品安全，通常会在飞机起飞的当天早上，或者前一天晚上去普通超市采集，以避免恐怖分子的蓄意破坏。机上还有一个医疗中心，配有一个可折叠的手术台。医疗中心的所有设备完全采用最先进的尖端器材，遇到任何紧急状况，它都能立即发挥急救功能，甚至比一般的医院急诊室更为现代化。

“空军一号”同时也是“空中五角大楼”和临时的美国三军空中指挥中心。机上配备了完善的通信系统，能为美国总统及其助手提供全球各地正常或机密资料的传送和接收。机上各种电线长度达到 3000 千米，配置了



87 条电话线、10 台高级电脑、1 架大型复印机、1 台传真机以及 57 架各类天线。机上装备了具备空对空、空对地功能的多重脉冲频率无线电通信设备，其主要功能是当“空军一号”在遭遇核爆炸影响或外来电波干扰时，保证机上人员的安全和通信设备的畅通运作。

飞行性能

“空军一号”配有 4 台通用电气 CF6-80C2B1 发动机，最大飞行速度 1128 千米/时，飞行高度是 13750 米。在不进行空中加油的情况下，“空军一号”的航程可达 10000 千米，在空中滞留的时间约为 12 小时；如果在空中加油，则可在空中滞留 72 小时，足以将美国总统送往全球任何一个地方。

“空军一号”每天 24 小时都处于准备起飞状态，18 名机组人员和最精密的仪器，使它能在任何时候、任何地方与白宫进行最紧密的联系。

防护性能

“空军一号”机身上覆盖的厚装甲可以抵御核弹爆炸的冲击波，所有窗户都安装防弹玻璃。专机内还有一个自动弹射装置，遇到紧急情况可以自动启动，把总统弹到安全的地点降落。

“空军一号”拥有先进的反导弹系统。空防人员坐在装有各种电子显示仪和屏幕的工作台前，可以监视专机四周的所有空间。一旦发现导弹袭击，他们可以立即启动电子干扰系统，诱使导弹改变方向，从而确保“空军一号”的安全。两架“空军一号”一模一样，一架作为主机，另一架作为副机。若主机发生故障，总统可以随时换乘副机。通常在总统登机前，安全部门必须派出一队工作人员，检查并在飞机燃油上做好标记，以防有人破坏。另一队人员还要检查跑道，总统登机或下机时若有危险，这些人将立刻开枪。当机队在空中遭遇导弹袭击时，副机能自动发出一种电磁波，用来吸引导弹攻击，保护主机脱险。降落时，主机和副机一前一后



尾号为 SAM 29000 的“空军一号”专机

落地，外人不会知道总统到底在哪架飞机上。

美国总统出国访问时，至少还有一架国家情报局的通信飞机陪同，目的是监测可能来袭的导弹电波。此外，还有两架总统直升机、多架C-130“大力神”运输机以及 10 辆防弹汽车随行。



“空军一号”专机右侧视角



“空军一号”专机在高空飞行



停放在跑道上的“空军一号”专机



NO.94 飞行速度相对较慢的武装直升机在喷气机时代有何作用?

众所周知，速度是飞行器的重要性能指标之一。1939 年 8 月 27 日，德国 He-178 喷气式战斗机试飞成功，它标志着人类航空史上喷气飞行时代的到来。时至今日，人类已经成功研制出飞行速度高达 3 马赫的量产飞机（美国 SR-71“黑鸟”侦察机），其他超音速飞机更是常见。在这种背景下，时速不过 300 千米的武装直升机却异军突起，难免让人觉得不可思议。

事实上，武装直升机之所以越来越受到重视，主要是因为它具有独特的性能，在局部战争中发挥着日益重要的作用。它的主要性能特点：一是反应灵活，机动性好；二是能贴地飞行，隐蔽性好，生存力强；三是机载武器的杀伤威力大；四是速度远高于地面载具。虽然武装直升机的速度远远比不上喷气式飞机，但与地面载具相比却有绝对优势。

在现代战争中，武装直升机主要可执行以下任务。

（1）攻击坦克。武装直升机是一种非常有效的反坦克和装甲目标的武器。模拟对抗试验表明，坦克与武装直升机对抗的击毁概率为 12 ∶ 1。在一些局部战争中，武装直升机在反坦克作战中战果累累。

（2）支援登陆作战。在 1982 年的英阿马岛战争中，英国出动了近百架武装直升机，在战争中发挥了重要作用。

（3）掩护机降。武装直升机是掩护运输机和运输直升机进行机降的主

要火力支援武器。1991 年海湾战争的一次作战行动中，在 AH-64“阿帕奇”武装直升机掩护下，多国部队的 2000 多名官兵、50 辆军车和火炮，大批燃料和弹药快速突入敌纵深 80 千米的地域。

（4）火力支援。武装直升机能有效地为地面部队行动实施火力支援。在海湾战争中，AH-64“阿帕奇”等直升机曾为地面部队提供火力支援，为地面部队进攻开辟了通道。

（5）直升机空战。各国在发展武装直升机的同时，也在考虑如何有效地对付它。目前普遍认为对付武装直升机最有效的武器还是直升机。未来战争中，直升机间的空战是一个不可避免的趋势。

除此之外，武装直升机还可执行侦察、空中指挥、电子战和其他作战任务，因而有人称之为“战场上的多面手”。在未来的高技术战争中，武装直升机将会发挥日益重要的作用。

在现役的武装直升机中，美国的 AH-64“阿帕奇”和俄罗斯的卡 -50“黑鲨”尤为令人瞩目。AH-64 直升机的最大允许时速为 365 千米，转场航程约 1900 千米，机上装有一门 30 毫米机炮，可挂装 16 枚反坦克导弹或 4 枚空对空导弹，或火箭等武器，能执行反坦克、对地攻击和为直升机护航等任务。

卡 -50 直升机是世界上第一种具有弹射装置的武装直升机，最大平飞时速为 350 千米，作战半径约 250 千米。机上可挂装速射机炮、反坦克导弹和火箭弹，也能挂装空对空导弹对敌方直升机和低空攻击机以及巡航导弹进行攻击防御。


美国 AH-64“阿帕奇”武装直升机





俄罗斯米-28“浩劫”武装直升机



南非 CSH-2“石茶隼”武装直升机



欧洲“虎”式武装直升机

NO.95 直升机在反潜作战中有何优势？

直升机在海战中作战的有效性，在英阿马岛战争和海湾战争中已经得到充分证明。马岛 战争中，英军的“黄蜂”直升机发射 AS-12 反舰导弹攻击阿根廷的“圣菲”号潜艇，使其搁浅并丧失了作战能力；“山猫”直升机发射 4 枚“海上大鸥”反舰导弹，击沉阿根廷的一艘巡洋舰。海湾战争中，1991 年 1 月 29 日，英军的“山猫”直升机多架共发射了 26 枚“海上大鸥”反舰导弹，击沉伊拉克快艇 5 艘，击伤 12 艘。

直升机虽然能有效杀伤水面舰艇，但更大的作用是反潜。直升机反潜是立体反潜体系中一个重要的组成部分，这是因为直升机反潜与其他反潜兵器比较有明显的优越性，概括起来主要有以下几个方面。

（1）反潜能力强。因直升机速度远高于反潜舰艇和潜艇，又机动灵活，既可在短时间内搜索大面积海区，又可快速飞向潜艇游弋的海域，不失时机地对目标进行搜索、跟踪和攻击，以完成应召反潜任务。

（2）反潜隐蔽性好，利于突袭。现代潜艇配有性能先进的声呐系统，能探测到较远距离的反潜舰艇或潜艇发出的机械噪声。直升机反潜时利用声呐探头放入水中，不易被敌方潜艇发现，且不会因自身的噪声干扰探测效果。特别是使用被动探测器材时，更不易被潜艇发现。这样既能提高探测潜艇位置的准确性，又能在潜艇上空实施突然攻击。

（3）可使用多种探测设备，搜索效果好。直升机可在搜索区使用声学和非声学多种探测设备，如吊放声呐、声呐游标、磁异探测仪、红外探测仪等，实施对潜艇的搜索。尤其使用吊放声呐时，可将声呐放入温跃层（该层没有固有噪声干扰）以下，增大声呐的作用距 离，有效地发挥声呐性能，从而提高发现目标的概率。

（4）反潜作战效果好。由于直升机能用多种攻潜武器，且又能隐蔽接近目标实施突然攻击，无论是投放反潜鱼雷，还是投放深水炸弹，其散布小，命中精度高。

（5）生存率高。现代潜艇所携带的反潜导弹、鱼雷或巡航导弹，只能打击水面舰艇和岸上目标，一般尚无有效的对空武器，对反潜直升机尚不能构成威胁。

（6）作战半径较大。舰载反潜直升机可借助载舰的续航力，随载舰到远方海域担负反潜任务，从而有效地增加了反潜作战半径。舰载反潜直升机

同时具有搜潜和反潜能力，既可单独完成反潜任务，也可与载舰协同进行反潜作战。

当然，直升机反潜也存在局限性：舰载反潜直升机受气象和海情的制约较大，一般 5 级以上海情就较难执行任务；探测设备的作用距离较近；易受来自空中的袭击等。尽管存在这些不足，但由于直升机反潜的上述特点，在各海军大国的反潜武器系统中，直升机仍占有重要位置，担负着反潜作战的重任。



英国海军装备的“山猫”直升机



英国海军“山猫”直升机与美国海军“惠特尼山”号两栖指挥舰



美国海军 MH-60R 直升机利用吊放式声呐搜索潜艇



美国海军 SH-60 直升机携带的磁异探测仪（挂架下的红黄相间物体）



NO.96 经常低空飞行的武装直升机如何提高生存能力?

飞行在“树梢高度”，具有很强火力而又灵活机动的武装直升机，对地面部队构成的威胁很大。因此，各国的军事专家们都在研究对付它的办

法。在防空力量日趋加强的现代战争中，武装直升机所面临的将是一个从天上到地面多方位、多种类的被探测与被攻击的战场环境。单兵便携式防空导弹、多管自行高射炮、反直升机地雷等多种地面武器，都能对武装直升机造成杀伤。在这种局面下，武装直升机必须积极采取应对措施提高自己的生存能力。

隐身技术是提高武装直升机生存能力的有效措施。未来作战行动中，发现到摧毁的时间差将更加短暂，因而在作战中谁先被发现谁就会处于被动地位。因此，未来武装直升机将广泛采用隐身技术，以降低被发现的概率。直升机的隐身技术和固定翼飞机的隐身技术稍有不同，因为雷达不易探测到小山后面飞行的物体。如直升机作贴地低速飞行，地形杂波能更好地掩蔽直升机，这是直升机隐身有利的一面。但直升机速度低，又使雷达有足够的时间报警，这是直升机隐身不利的一面。

为了对付敌方的探测和跟踪，在设计武装直升机时，要采用各种隐身技术，主要包括：缩小外形体积、涂伪装色、减少反光、降低噪声、吸波隐身、红外抑制、报警与干扰、施放烟幕、掠地（海）飞行、缩短暴露时间等。缩小外形体积、缩小旋翼直径、采用单座椅或阶梯式纵列双座椅的窄机身设计，使机身细长，可减少被敌方发现的概率。此外，采用可收放式起落架、内置弹仓、在桨毂和桨叶根部加装整流罩、把发动机包藏在机身内、将进气口设计成棱形等，这些措施都可以降低直升机的雷达反射截面积。而在机身上涂伪装色可使直升机的色彩与背景接近，当其在树林、草地和沙漠上空飞行时，就会淹没在背景中，不易被目视发现。

由于武装直升机飞行高度低、机动性较差，且紫外、红外暴露特征明显，红外 / 紫外双色制导导弹对武装直升机构成了严重威胁。为了有效躲避红外 / 紫外双色制导导弹的跟踪和攻击，提高自身的生存能力和安全性，许多武装直升机都采用了机载红外对抗技术，包括红外诱饵弹、前视红外、定向红外对抗等。为了应对迅速发展和完善的光电侦察、火控设备以及红外成像、激光、电视、复合制导等光电制导武器，未来武装直升机的机载红外对抗技术和装备将向综合化、一体化、多元化、立体化等方向发展。

此外，现代武装直升机几乎无一例外地采用抗弹击材料设计其系统、部件和零件。例如，在驾驶舱的上方、前方、两侧及两舱之间加装防弹玻璃；在驾驶舱下部和地板上加装防弹装甲；在座椅底部、两侧及靠背加装复合材料装甲；在其升力系统中大量使用复合材料提高抗弹击能力；在发动机、燃油系统、滑油系统及其重要管路加装防弹装甲或采用特种材料。


俄罗斯卡-50“黑鲨”武装直升机在低空飞行


超低空飞行的美国 AH-1“眼镜蛇”武装直升机


低空飞行的南非 CSH-2“石茶隼”武装直升机



印度“楼陀罗”武装直升机

NO.97 武装直升机是否具备击落战斗机的能力?

军用直升机行列中，武装直升机是一种名副其实的攻击性武器装备，因此也可称为攻击直升机。它的问世使军用直升机从战场后勤的二线走到战斗前沿，由不具备攻击力的“和平鸽”成为在树梢高度搏击猎物的“雄鹰”。作为一种武器装备，武装直升机实质上是一种超低空火力平台，其强大火力与特殊机动能力的有机结合，最适应现代战争“主动、纵深、灵敏、协调”的作战原则，可有效地对各种地面目标和超低空目标实施精确打击，使之成为继火炮、坦克、飞机和导弹之后又一种重要的常规武器，在现代战争中具有不可取代的地位与作用。

一般来说，武装直升机主要用于对付地面目标，尤其是坦克和步兵战车等装甲目标，所以武装直升机也被称为“坦克杀手”。但同为飞行器，武装直升机难免会与低空飞行的固定翼作战飞机碰头，因此有不少人都会想象武装直升机与战斗机交战的情景，并且多数人都认为武装直升机必然不是战斗机的对手。

的确，战斗机一直是空中的主宰，不仅飞得高、飞得快，而且探测设备先进、武器齐全，可以说是为空战而生。而武装直升机是为打击地面目标设计的，特长是打击集群的装甲部队，其飞行速度和高度都远不如战斗机。然而，真正的战争并不是简单的数据比较，战场形势瞬息万变，什么情况都

有可能发生，战斗机未必就能完全碾压武装直升机。

1982 年 10 月 27 日，伊拉克一架米 -24“雌鹿”武装直升机击落了一架伊朗 F-4D 战斗机，成为人们提到两伊战争时最常讨论的话题。这场战斗的细节并不清楚，有说米 -24 直升机是用反坦克导弹迎头击落 F-4D 战斗机，也有说是用机头机枪击落。无论如何，这都是世界战争史上第一次直升机击落喷气式战斗机的战例。

其实，这不是米 -24 直升机唯一一次“击落”战斗机。2008 年 6 月，美国在路易斯安纳州举行了一场军事演习，当时邀请了匈牙利空军的米 -24 直升机参加，在演习过程中，匈牙利飞行员依靠直升机特有的悬停、慢速机动和转弯半径小等飞行特点，在低空飞行利用地面地势作掩护，相互配合，令美国空军国民警卫队的 F-15“鹰”式战斗机大吃苦头，在几天的演习中至少有 2 架 F-15 战斗机被“击落”。

要知道，F-15 战斗机是美国研发生产的全天候、高机动性 战术战斗机，至今仍是美国空军的主力战斗机之一。反观米 -24 直升机，只是一种中型多用途武装直升机，并不完全是专业的武装直升机，体积比专业武装直升机更大也更重，所以灵活性不如专业武装直升机。虽然米 -24 直升机击落战斗机只是小概率事件，但至少说明武装直升机对战斗机并不是毫无机会的。因为低飞的直升机利用地面杂波和本身旋翼产生的虚像，令战斗机雷达很难锁定直升机，中距导弹基本失效，如果靠近了用格斗导弹攻击，直升机也能利用干扰弹进行躲避，同时使用空对空导弹进行反击。



美国 AH-64“阿帕奇”武装直升机做出高难度机动动作

当然，现实中武装直升机并不会主动与战斗机接战，当得到敌方有战斗机出动的信息后，武装直升机都会利用地势贴地飞行，主动撤离战区。所以，实战中很难出现武装直升机与战斗机缠斗的情景。


美国 AH-64“阿帕奇”武装直升机发射导弹


俄罗斯米 -28“浩劫”武装直升机编队飞行


澳大利亚“虎”式武装直升机发射导弹

NO.98 美国UH-60“黑鹰”直升机不爱装舱门的原因是什么？

UH-60“黑鹰”直升机是一种通用型10吨级直升机，拥有多种衍生型号，彰显了其近乎完美的通用性。“黑鹰”直升机以4500多架的生产量成为世界上生产数量最多的直升机之一，除美国之外还有20多个国家和地区购买。因此，“黑鹰”直升机在军事新闻和影视剧中出现的频率很高，细心的读者都会发现，“黑鹰”直升机的舱门很多时候都是开着的，更有甚者，直接把驾驶舱的舱门卸掉。这不免让人产生疑问，直升机卸掉舱门后在战场上飞行不是非常危险吗？其实，事实恰恰相反，“黑鹰”直升机经常开启舱门或卸掉舱门的原因主要有两方面，一是追求装卸效率，二是能更有效发现危险并进行规避。

“黑鹰”直升机舱门开着的时候往往都是作为输送作战力量和货物的平台，例如美国第101空中突击师编有数个装备“黑鹰”直升机的营，用来跨越地面障碍快速将士兵投放到战场。按照标准，“黑鹰”直升机至多能搭载14名士兵，也可以装载相当重量的货物。的确，关闭舱门能够保护士兵和飞行员免受轻武器的攻击。但是，“黑鹰”直升机虽然本身是一种通用型直升机，可以在侧面搭载武备，但是这会妨碍士兵上下，也不便于体积较大的货物装卸。

美军使用“黑鹰”直升机投放作战力量，都会预先对敌方实施空中打击或者远程的导弹攻击，要么会做足情报功课，引导部队前往战况不太激烈的位置部署。不管是受制于地形而采用索降还是直接停在地面，打开舱门都能省去一个麻烦的事项，让士兵快速离开直升机，训练有素的14名士兵只需要十几秒钟就能全部从降落在地面的“黑鹰”直升机上下来。

面对敌方导弹攻击时，“黑鹰”直升机可以依靠机载警告系统和诱饵弹进行规避。但如果是按着一条直线飞行的低技术水平的火箭弹，事情就会变得复杂起来。1993年10月在摩加迪沙，美军计划在1小时内完成的抓捕行动，就是由于两架“黑鹰”直升机被RPG-7火箭筒击落而演变成了一场持续一天一夜的近距离肉搏战。电影《黑鹰坠落》真实地还原了“黑鹰”直升机与RPG-7火箭筒之间的对抗：代号为“super 61”的“黑鹰”直升机悬停在空中等待“游骑兵”索降时，第4小队队长发现民兵用RPG-7火箭筒瞄准直升机，及时向机长发出了警告，成功规避了这发火箭弹。之后，“super 61”低空飞行时被RPG-7火箭筒击中前一刻，坐在机舱内的一名“三角洲”部队

士兵也向机长发出了警告；而另一架“super 64”没有搭载额外人员，视线盲区导致其在低空慢速飞行时被从后方地面的民兵用火箭弹击伤尾翼并最终坠落。

由此可见，“黑鹰”直升机的额外乘员能较好地观察敌情。在战区城市低空慢速盘旋的直升机特别容易遭到攻击，一般的轻武器对于结构强度较大的“黑鹰”直升机并不会造成太大的困扰，但是火箭弹的攻击，则是非常致命的。“黑鹰”直升机上即使有额外人员搭乘，如果舱门没有打开，视线盲区依旧非常大，这对于“黑鹰”直升机来说是极其危险的。虽然地面情况复杂，并且在空中观察地面也不太容易，但是这样做是防范来自地面攻击的一种有效方法。



美军士兵从 UH-60“黑鹰”直升机上快速索降



舱门开启的 UH-60“黑鹰”直升机


UH-60“黑鹰”直升机侧后方视角


UH-60“黑鹰”直升机仰视图

NO.99　美国和俄罗斯的直升机飞行员救生系统有何区别?

直升机作为“树梢杀手”，能够有效打击敌方坦克装甲、固定目标和有生力量。但是直升机速度慢、飞行高度低、防护能力薄弱，很容易被轻武器或便携式防空导弹击落。由于直升机的旋翼在驾驶舱上方，加上早期弹射座椅无法实现低空开伞，直升机飞行员很难像固定翼飞机的飞行员那样弹射逃

生，因此直升机一旦被击中或遇到无法逆转的机械故障，飞行员生存率不及固定翼飞行员的 1/10。

为了提高直升机飞行员的生存率，各军事强国投入了大量科研力量和资金，研究直升机抗坠毁能力和飞行员逃生装备。目前以美国为首的北约国家以增强直升机的抗坠毁能力来提高飞行员的生存概率，而俄罗斯则另辟蹊径，大力发展直升机弹射逃生装备，并取得实质性的成果。

美国在 20 世纪 50 年代就开始研究直升机抗坠毁能力的问题。20 世纪 70 年代，美国公布了《轻型固定翼及旋翼飞机救生性标准》和《抗坠毁不弹射成员座椅系统军用规范》，要求美国设计的武装直升机在以 12.8 米 / 秒的速度垂直坠落时，保证飞行员有 95% 的存活概率。这个抗坠毁指标目前只有美国能实现。法国的“海豚”直升机以 7.9 米 / 秒的速度垂直坠落时，飞行员的生存概率仅有 64%。

美国武装直升机的抗坠毁性能之所以能够走在世界前列，与直升机抗坠毁系统设计有关。当直升机坠毁时，起落架最先受到地面冲击，其次是飞机底部机壁，冲击力量最后到达飞行员座椅，并影响飞行员。目前，各国武装直升机普遍采用“跪式起落架”，比直筒式起落架的减震效果更好，能吸收 60% 的冲击能量。

美军为 UH-60“黑鹰”直升机装备的人员座椅既能防弹又能缓冲冲击力。这套防弹抗坠毁座椅由装甲椅盆、能量吸收器、坐垫、约束系统组成。装甲椅盆安装在飞行员坐垫底部，可有效防御 12.7 毫米子弹的射击。能量吸收器可以吸收大部分冲击力，而约束系统则可保证飞行员在受到冲击时保持正确的体位坐姿。

俄罗斯在直升机飞行员救生系统的设计上采取了更为积极主动的弹射救生系统。其研制的 K-37 弹射座椅是世界上唯一一种直升机弹射救生系统。K-37 弹射救生系统已经装备卡 -50“黑鲨”和卡 -52“短吻鳄”直升机。这套系统由弹射火箭、座椅、降落伞组成。当飞行员拉动弹射手柄时，这套救生系统首先用爆炸螺栓将上面的两副 6 片桨叶炸开脱落，而另一爆炸螺杆将座舱盖炸飞，然后座椅底部的弹射火箭将座椅和飞行员弹射出机舱约 40 米的高度，降落伞自动打开，飞行员将以低于 7 米 / 秒的速度降落在地面，座椅底部还装有救生筏、医疗袋等救生物件。

卡 -50 和卡 -52 直升机良好的战场生存能力，大大增强了飞行员的信心，有利于充分发挥飞行员的战斗力。不过，直升机弹射救生系统的技术难度非常大，所以这项技术一直没有普及。


美国 AH-64“阿帕奇”直升机在湖泊上空飞行


低空飞行的美国 UH-60“黑鹰”直升机



俄罗斯卡 -50“黑鲨”直升机悬停在空中


俄罗斯卡-52“短吻鳄”直升机发射干扰弹

NO.100 军用无人机如何提高生存能力?

与载人飞机相比，无人机具有体积小、造价低、使用方便、对作战环境要求低等优点。不过，无人机在面对现代防空系统时生存能力较低。为提高生存能力和机动性能，各国无人机大多都向隐身化、高速化方向发展。

目前，军用无人机主要用于执行侦察任务。对于提高生存能力来说，无论高空还是低空侦察，隐身化对于执行侦察任务的无人机都非常重要。例如，科索沃战争中，执行低空飞行任务的英国“不死鸟”（Phoenix）无人机的隐身性能较好，塞族军队只能听到发动机的声音，而雷达上却看不见飞机，它的生存能力很强。而法国“红隼”（Crecerelle）无人机因为飞行速度太慢，被击落1架。因此，新型无人侦察机将采用最先进的隐身技术，具体措施有以下两种。

第一，采用复合材料、雷达吸波材料和低噪声发动机。美国MQ-1“捕食者”（Predator）无人机的机身除了主梁以外，全部采用了石墨合成材料，并对发动机进出口和卫星通信天线进行了特殊设计，其雷达信号特征只有0.1平方米，对雷达、红外和声传感器都有很强的隐身能力。俄罗斯“无风”隐身无人机装备有一台涡轮喷气发动机，能够进行垂直起降，最高飞行速度可达780千米/时。该机在制造过程中使用了大量的吸波材料，具有较强的隐蔽飞行能力。

第二，采用限制红外反射技术。在无人机表面涂上能吸收红外线的特制漆和在发动机燃料中注入防红外辐射的化学制剂，雷达和目视侦察均难以发现采用这种技术的无人机。另外，减少表面缝隙或采用充电表面涂层等方法也能增强其隐身性。

至于高速化，主要是通过采用高性能发动机来实现。提高无人机的飞行速度，除了使其机动性能提高外，无疑也是增大突防概率、提高生存能力的好方法。无人机对发动机的要求较高，除了要求它的油耗率低、功率大外，还要有大的功重比。因为，同样功率的发动机，油耗越大、质量越重，则意味着可搭载的任务设备就越少。随着航空发动机技术的不断改进，无人机也将具备越来越高的飞行速度和机动性能。


法国“红隼”无人机


美国 MQ-1“捕食者”无人机



奥地利 S-100 无人机


以色列“统治者”无人机



NO.101 美国 RQ-4“全球鹰”无人机如何执行侦察任务?

RQ-4“全球鹰”无人机是美国诺斯洛普·格鲁曼公司研制的高空高速无人侦察机，堪称美国空军乃至全世界最先进的无人机。

“全球鹰”无人机的机身长度为 14.5 米，高度为 4.7 米，翼展为 39.9 米，最大飞行速度为 629 千米 / 时，最大飞行高度为 18000 米。机载燃料超过

7000 千克，航程可达 22779 千米，自主飞行时间长达 32 小时，可以完成跨洲际飞行。“全球鹰”无人机可在目标区上空 18000 米处停留 24 小时进行侦察，而 U-2 “蛟龙夫人”侦察机在目标上空仅能停留 10 小时。“全球鹰”无人机采用惯性制导加全球定位系统制导进行自主导航，能自动完成从起飞到着陆的整个飞行过程。通过卫星链路，可自动将无人机的飞行状态数据发送到地面任务控制单元。

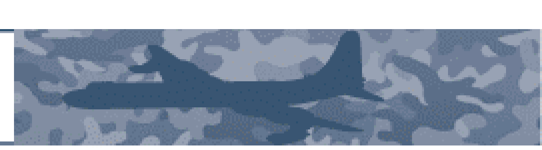
小贴士

2001 年 4 月 22 日，一架“全球鹰”无人机从美国加利福尼亚空军基地起飞，全程实施遥控操作，经过 22.5 个小时的连续飞行，降落在澳大利亚阿德莱德附近的艾钦瓦勒皇家空军基地，总航程达 12000 千米，成为世界上第一架成功飞越太平洋的无人机。

“全球鹰”无人机可携带光电、红外传感器系统以及合成孔径雷达等多种传感器。光电传感器重 100 千克，工作在 0.4 ～ 0.8 微米的可见光波段；红外传感器工作在 3.6 ~ 5 微米的中波红外波段; 合成孔径雷达工作在 X 波段，重量为 290 千克。在一次任务飞行中，“全球鹰”无人机既可进行大范围雷达搜索，又可提供 7.4 万平方千米范围内的目标光电 / 红外图像。在 18000 米的高空，合成孔径雷达获取的条幅式侦察照片精度达到 1 米，定点侦察照片可达到 0.3 米。对 20 ～ 200 千米 / 时行驶的地面移动目标，可精确到 7 米。装有 1.2 米直径天线的合成孔径雷达能在 18000 米的高度穿透云雨、沙尘暴等障碍，连续监视运动目标，准确识别地面各种飞机、导弹和车辆的类型，故有“大气层内侦察卫星”之称。

“全球鹰”无人机最先进的地方在于，它能与现有的“联合可部署智能支援系统”（JDISS）和“全球指挥控制系统”（GCCS）连接，图像能直接而实时地传送给指挥官使用，用于指示目标、预警、快速攻击、战斗评估与再攻击。“全球鹰”无人机还可以适应陆、海、空军不同的通信控制系统，既可进行卫星通信，又可进行视距数据传输通信。宽带通信系统的传输速率为 274 兆比特 / 秒，Ku 波段的卫星通信系统的传输速率则可达 50 兆比特 / 秒。另外，机上装有备份的数据链。

在 2001 年 4 月进行的试验中，“全球鹰”无人机直接将雷达图像传送到美国陆军战术情报系统和美国海军“华盛顿”号航空母舰的海军终端，随后又横跨大西洋到葡萄牙侦察欧洲大陆及马德拉群岛的目标，这些图像均通



过设在英国的联合分析中心传送到北约的大西洋最高盟军司令部，经过处理后的情报又传给战区指挥员，供随后的两栖登陆演习使用。

RQ-4“全球鹰”无人机在高空飞行

RQ-4“全球鹰”无人机降落


RQ-4“全球鹰”无人机起飞



RQ-4“全球鹰”无人机俯视图

NO.102　无人机“蜂群”战术需要使用哪些先进技术？

微型无人机在军事上的应用有着广阔的前景，但长期以来，微型无人机的载重限制使其实际军事应用范围受到很大限制。但如果能够把上千架微型无人机打造成一个集群作战的智能“蜂群”，战斗力就将以数量级提升。这样的“蜂群”可以覆盖广阔的侦察监控范围，相互之间、与后方指挥控制中

心之间高速互联，将大量个体融合为一个“无孔不入”的作战集群。部分无人机可以实施打击任务，例如携带小体积爆炸物摧毁目标。

2016 年 10 月，美国军方进行了 F/A-18“超级大黄蜂”战斗 / 攻击机释放的无人机“蜂群”试验。3 架 F/A-18 战斗 / 攻击机，放出 103 架“山鹑”微型无人机，然后它们组成了一个协调的集群，集体安全飞到指定目标位置。这一短暂的试验，证明了美国已经具备了控制“蜂群”的能力。无人机“蜂群”战术看似简单，其实涉及多种先进技术。

集群控制算法

多无人机系统要实现相互之间的协同就必须确定无人机之间逻辑上和物理上的信息关系和控制关系，针对这些问题而进行的体系结构研究可以将多无人机系统的结构和控制有机地结合起来，保证多无人机系统中信息流和控制流的畅通，为无人机之间的交互提供框架。集群控制算法不仅要保证多无人机之间能有效地进行协同，而且不依赖于无人机的数量，即无人机可以随时退出或者加入集群，而不会影响控制系统的整体结构。

通信网络设计

在多无人机协同任务自组织系统中，无人机作为通信网络节点，其空间的分布决定了网络的拓扑结构，而不同的网络拓扑结构有着不同的通信性能。在一定的通信拓扑及性能条件下，根据所执行的任务分配通信资源，提高通信质量，是集群技术的难题之一。

控制算法与通信技术的耦合

多无人机为了提高协同完成任务的效能，需要进行信息交互。为了促使所交互的信息及时完整地进行传输，对于通信网络性能有一定的要求。基于通信质量约束的协同控制方法，就是在当前的通信服务质量约束条件下，设计多无人机协同控制方法，并在这种控制方法条件下，使多无人机的运动既满足任务需求，又可以使多无人机构造的通信网络性能，满足信息及时完整传输的需求，进而提高多无人机协同完成任务的效能。

任务规划技术

为了实现多无人机之间有效的任务协同，同时保证控制结构不依赖于无人机的数量，构建多无人机协同任务自组织系统分布式体系结构，各无人机的基本行为和简单任务由无人机自主完成，当面临复杂任务和需要协作的任务时，当前无人机可以把任务信息和资源需求发布到由各无人机组成的网络

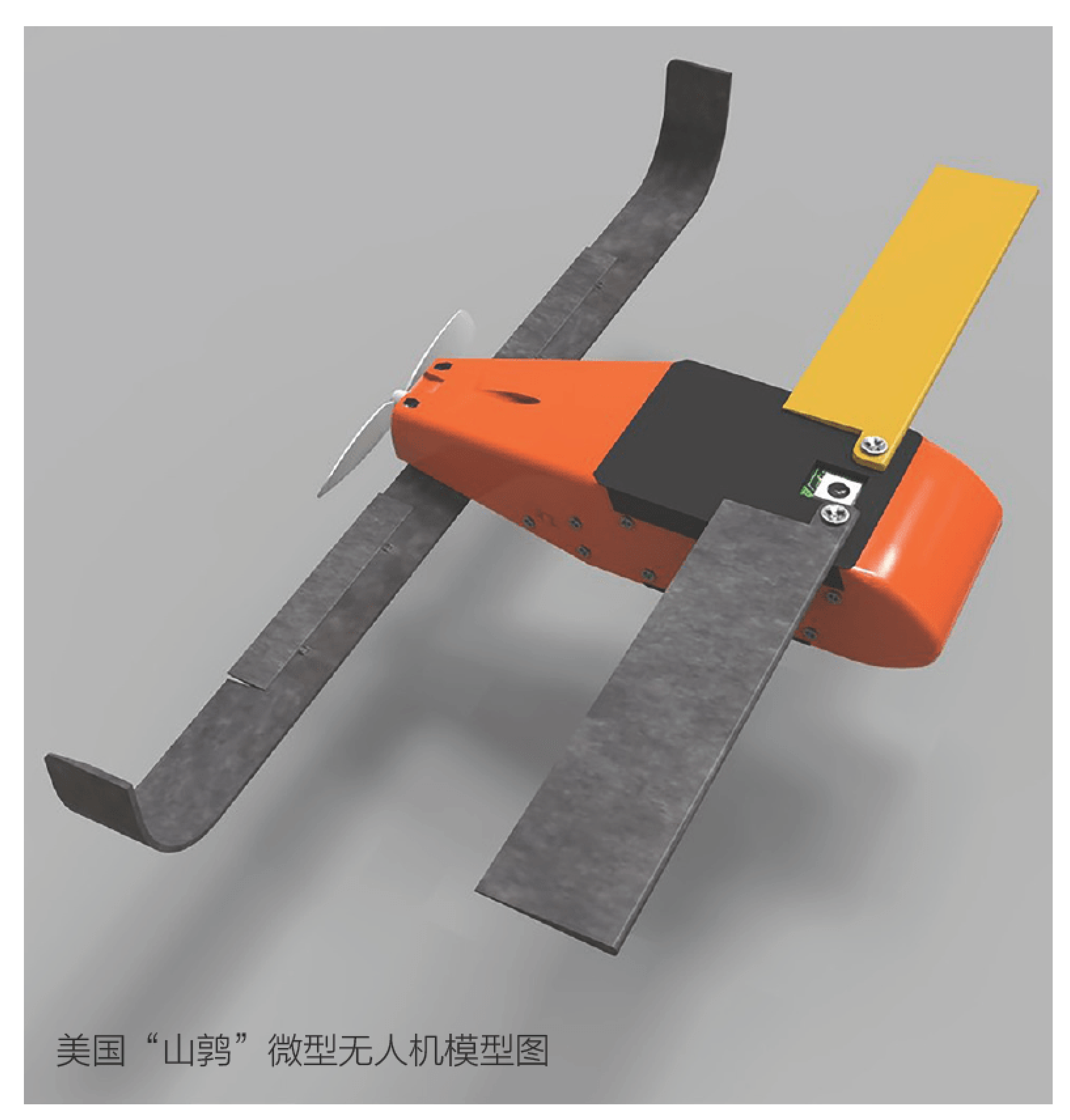
上，各无人机可以根据自身当前任务和资源情况予以响应。这样，任意一架无人机的退出或加入，都不会对系统组织结构带来影响。

路径规划技术

无人机在实际飞行中如果发生突发状况，必须进行航迹重新规划，以规避威胁。为满足协同工作时的时效性，重新规划所采用的算法必须具有实时、高效的特点。因此，可以根据蜂群算法领域搜索的特点，以参考航迹的突发威胁作为领蜂航迹，跟随蜂仅在参考航迹的突发威胁段进行领域搜索，而不需要对整条航迹进行搜索，由此可以快速获得修正航迹段，并替换原突发威胁航迹段。在整个飞行过程中，无人机可根据获得的威胁信息，不断修正参考航迹，直至达到目标节点。

编队控制技术

在数学上，保持一定空间距离的无人机集群可以看作一个高阶群系统时变编队问题，其控制问题很有挑战性，且通信时延的存在又为编队分析增加了难度。无人机集群技术正处于快速发展阶段。随着科技的不断发展， 无人机自主能力的不断提高，无人机集群必将成为未来无人机发展的主要趋势。



美国“山鹑”微型无人机模型图





挪威“黑色大黄蜂”微型无人机



美军士兵正在操作“黑色大黄蜂”微型无人机



小巧玲珑的“黑色大黄蜂”微型无人机

参 考 文 献

[1] 吕辉．空中斗士：军用飞机 [M]．北京：中国社会出版社，2014．
[2] 保罗·艾登．现代战机百科全书 [M]．北京：中国画报出版社，2016．
[3] 军情视点．全球战机图鉴大全 [M]．北京：化学工业出版社，2016．
[4] 灌木文化．世界经典战机完全图解 [M]．北京：化学工业出版社，2017．
[5] 霍姆斯．美军战机鉴赏指南 [M]．北京：人民邮电出版社，2009．